

Херсонський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: «Проект авіабудівного підприємства з дослідженням смарттехнологій та цифрових двійників.»

Пояснювальна записка

Виконав: студент 2 курсу, групи 6ПМ

Спеціальності 131-Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Крижановський Б.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сарафаннікова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Русанов С.А.

(прізвище та ініціали)

Херсонський національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

- Інститут, факультет, відділення інженерії та транспорту
- Кафедра, циклова комісія Автоматизації, робототехніки і мехатроніки
- Освітньо-кваліфікаційний рівень магістра
- Напрямок підготовки _____
- Спеціальність 131- Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової
комісії _____

Селіверстов І.А.

« » 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Крижановський Богдан Юрійович

1. Тема проекту «Проект авіабудівного підприємства з дослідженням
смарттехнологій та цифрових двійників»

Керівник проекту (роботи) к.т.н., доцент Сарафаннікова Наталя Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові наукова ступінь, вчене звання)

Затвердженні наказом вищого навчального закладу від 28.08.2024 року № 373-с.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2024

3. Вихідні дані по проекту (роботи) Структура Проекту авіабудівного підприємства з дослідженням смарттехнологій та цифрових двійників підприємства, номенклатура продукції, що виробляється, типовий технологічний процес, опис обладнання, контрольно-вимірювальних засоби, система комп'ютеризації та диспетчеризації підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан технологій і обладнання в авіабудівній промисловості

2. Опис кіберфізичних засобів виробництва

3. Інформаційне забезпечення технології, моделі цифрових двійників технологіч-

них і механічних систем

4. Охорона праці

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Сучасний стан технологій і обладнання в авіабудівній промисловості	Дмитрієв Д.О.	06.09.24	06.09.24
Опис кібер фізичних засобів виробництва	Дмитрієв Д.О.	20.09.24	20.09.24
Інформаційне забезпечення технології, моделі цифрових двійників технологічних і механічних систем	Дмитрієв Д.О.	07.10.24	07.10.24
Охорона праці	Кузнецов С.І.	28.10.24	28.10.24

Дата видачі завдання 06.09.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної Роботи	Срок вико- нання етапів роботи	Примітка
1	Підбір і огляд літератури	20.09.24	20.09.24
2	Методи досліджень, математичні моделі, апаратне забезпечення	07.10.24	
3	Проектування елементів Смартсистема виробництва, структура та опис цифрових двійників технологічних процесів	21.10.24	
4	Розділ організації виробництва та диспетчерські засоби та оцінка КРІ виробництва по ДСТУ22400	25.11.24	
5	Розділ з охорони праці та безпеки життєдіяльності	29.11.24	
6	Оформлення ПЗ і плакатів	13.12.24	
7	Завершення оформлення проекту	15.12.24	

Студент _____ Крижановський Б.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Сарафаннікова Н.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

В данній роботі надано теоретичні відомості про цифрових двійників, їх застосування, класифікація, а також опис кіберфізичних засобів виробництва для авіабудівного підприємства і авіаційної галузі.

Розглянуто технологію фарбування літаків для імітаційної моделі та розрахунків, побудовано роботизований цех за допомогою ABB RobotStudio.

Продемонстровано схему налаштування робота, траєкторію руху за системою координат, за допомогою інструментальної офлайн-програмування і моделюючої робототехнічної програми.

Розглянуто вимоги охорони праці при виконанні фарбування літаків.

Структура роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота містить 4 розділи, висновки, перелік використаних джерел, що викладено на 65 сторінках тексту, включаючи 41 рисунок, 2 таблиці та 24 використаних джерел.

Актуальність теми.

Сучасний стан світової економіки, а також постійно зростаюча конкуренція в авіабудівній галузі змушують світових виробників авіації та авіаційної техніки вже робити кроки із впровадження у виробництво більш досконалих технологій Індустрії 4.0 орієнтованих на автоматизацію і оптимізацію з метою підвищення конкурентоспроможності продукції.

Технологія фарбування літаків цивільної авіації стикається з такими проблемами, як висока трудомісткість, довготривалість, низька ефективність використання фарби та інтенсивний розвиток технологій.

Мета й завдання дослідження.

Метою дослідження є аналіз доцільності впровадження роботизованих технологій і обладнання в технологічний процес фарбування літаків цивільної авіації.

Завдання дослідження:

- аналіз технологічного забезпечення цеху для фарбування літаків;
- застосування технологій Індустрії 4.0 для цеху фарбування літаків;

- дослідження ефективності модифікованої конфігурації цеху.

Об'єкт дослідження.

Технологічний процес фарбування літаків та їх компонентів в рамках виробничого комплексу.

Предмет дослідження.

Показники ефективності автоматизації для цеху фарбування літаків, а саме роботизація обладнання

Ключові слова: ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ, АВІАБУДІВНЕ ПІДПРИЄМСТВО, ROBOTSTUDIO, ФАРБУВАННЯ

ABSTRACT

In this work, theoretical information is provided about digital twins, their applications, classification, as well as a description of cyber-physical production tools for the aircraft manufacturing enterprise and the aviation industry.

The technology of aircraft painting for simulation models and calculations is considered, and a robotic workshop is built using ABB RobotStudio. The setup of the robot, the movement trajectory in the coordinate system, is demonstrated using an offline-programming and simulation robotic software.

The work also discusses occupational health and safety requirements for aircraft painting.

Structure of Work.

The master's thesis consists of 4 chapters, each with conclusions, general conclusions, a list of references, and is presented on 65 pages of text, including 41 figures, 2 tables, and 24 references.

Actuality of the research.

The current state of the global economy, as well as the continuously increasing competition in the aircraft manufacturing industry, is pushing global aviation and aerospace equipment manufacturers to already take steps towards the implementation of more advanced technologies of Industry 4.0 aimed at automation and optimization to increase the competitiveness of products.

The technology of civil aviation aircraft painting faces such problems as high labor intensity, long duration, low efficiency of paint usage, and the intensive development of technologies.

The purpose of the study.

The purpose of the research is to analyze the feasibility of implementing robotic technologies and equipment into the aircraft painting process for civil aviation.

Research tasks:

Analysis of technological support for the aircraft painting workshop.

Application of Industry 4.0 technologies for the aircraft painting workshop.

Study of the effectiveness of the modified workshop configuration.

Object of Research.

The technological process of painting aircraft and their components within the production complex.

Subject of Research.

Performance indicators of automation for the aircraft painting workshop, specifically the operation of equipment.

Keywords: SIMULATION MODELING, INTELLIGENT TECHNOLOGIES, AIRCRAFT MANUFACTURING ENTERPRISE, ROBOTSTUDIO, PAINTING.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ І ОБЛАДНАННЯ В АВІАБУДІВНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	12
1.1 Імплементація цифрових двійників в авіабудуванні, автоматизація виробництва	12
1.2 Опис авіабудівного підприємства з аналізом вихідних даних для створення імітаційної моделі	18
1.3 Технологія фарбування літаків	22
РОЗДІЛ 2 ОПИС КІБЕРФІЗИЧНИХ ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА	28
2.1 Технології роботизованого фарбування літаків	28
2.2 Роботизовані системи та їх характеристики	29
2.3. Механізми контролю відстані в роботизованих системах	36
РОЗДІЛ 3 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ, МОДЕЛІ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ	40
3.1 Опис програми RobotStudio для використання робота ABB IRB5400	40
3.2 Симуляція роботизованого фарбування за допомогою RobotStudio	46
3.3 Порівняльний аналіз ключових показників ефективності	53
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

DT – Digital Twin

ЦД – Цифровий двійник

ЦА – Цивільна авіація

ABB – Asea Brown Boveri Ltd.

ВСТУП

У сучасному світі динамічного розвитку технологій та глобалізації ринків, авіаційна індустрія стоїть перед безпрецедентними викликами та можливостями. З метою вдосконалення та оптимізації виробничих процесів, управління ресурсами та підвищення конкурентоспроможності, авіабудівні підприємства активно впроваджують цифрові технології та концепції Індустрії 4.0. Цифровий двійник, або цифрова копія реального об'єкта чи процесу, стає ключовим інструментом в цьому контексті.

Цифровий двійник (англ. Digital Twin) — цифрова копія фізичного об'єкта чи процесу, яка допомагає оптимізувати ефективність виробництва. Концепція «цифрового двійника» є частиною четвертої промислової революції і покликана допомогти підприємствам швидше виявляти фізичні проблеми, точніше прогнозувати їхні результати й виготовляти якісніші продукти. Цифровий двійник відображає всі аспекти реального об'єкта в віртуальному середовищі, що дозволяє аналізувати, моделювати та оптимізувати робочі процеси без прямого впливу на реальну систему.

Необхідною передумовою для успішного впровадження цифрового двійника є ретельне дослідження та розробка стратегії, спрямованої на максимізацію переваг цифрової трансформації та забезпечення відповідності з міжнародними стандартами якості та безпеки в авіаційній індустрії.

Авіація, як система з високим рівнем безпеки та надійності, стикається з низкою викликів, таких як цифрова трансформація, високі витрати на виробництво, недостатня ефективність обслуговування та стрімкий розвиток технологій. Однією з найбільш перспективних технологій є цифровий двійник (ЦД), який здатен ефективно вирішувати ці проблеми. Завдяки використанню ЦД можна забезпечити значне зниження витрат на виробництво, зменшення часу на обслуговування та вдосконалення процесів моніторингу та прогнозування. Впровадження цифрового двійника сприяє не тільки підвищенню безпеки, але й дозволяє значно покращити загальну ефективність та конкурентоспроможність підприємств на ринку.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ І ОБЛАДНАННЯ В АВІАБУДІВНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1 Імплементація цифрових двійників в авіабудуванні, автоматизація виробництва

Сучасний стан світової економіки, а також постійно зростаюча конкуренція в авіабудівній галузі змушують світових виробників авіації та авіаційної техніки вже робити кроки із впровадження у виробництво більш досконалих технологій Індустрії 4.0 орієнтованих на автоматизацію і оптимізацію із метою підвищення конкурентоспроможності продукції.

Як високобезпечна та надійна система, авіація стикається з такими проблемами, як цифрова трансформація, високі витрати на виробництво, низька ефективність обслуговування та інтенсивний розвиток технологій. Однією з найвигідніших технологій є цифровий двійник (DT), який може вирішити вищезгадані проблеми [1].

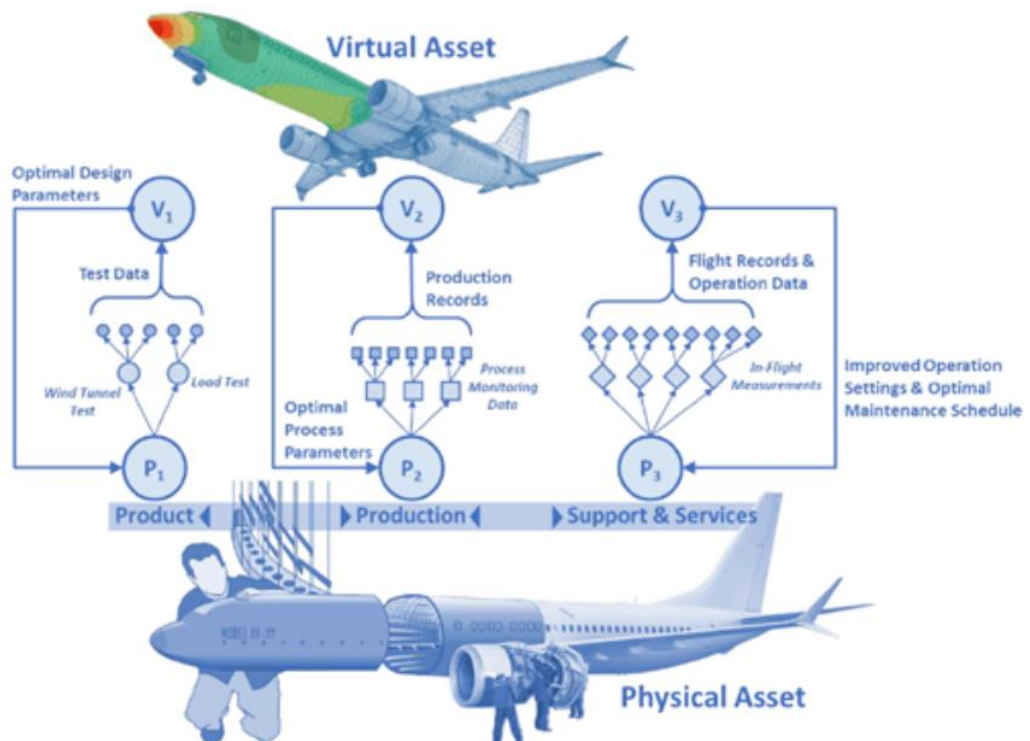


Рисунок 1.1 - DT як віртуальне представлення підключеного фізичного акти-
ву, запозичений із позиційного документа (AIA) «Цифровий двійник: визначення та
значення» [2]

Цифрові двійники — це потужний інструмент, який можна використовувати для підвищення безпеки, ефективності та надійності авіаційних систем. Вони є віртуальним представленням фізичного активу, наприклад літака, двигуна або компонента. ЦД можна використовувати для моделювання продуктивності цих активів у режимі реального часу, що може допомогти виявити потенційні проблеми та внести зміни в дизайн або роботу активу до того, як це спричинить проблему [2].

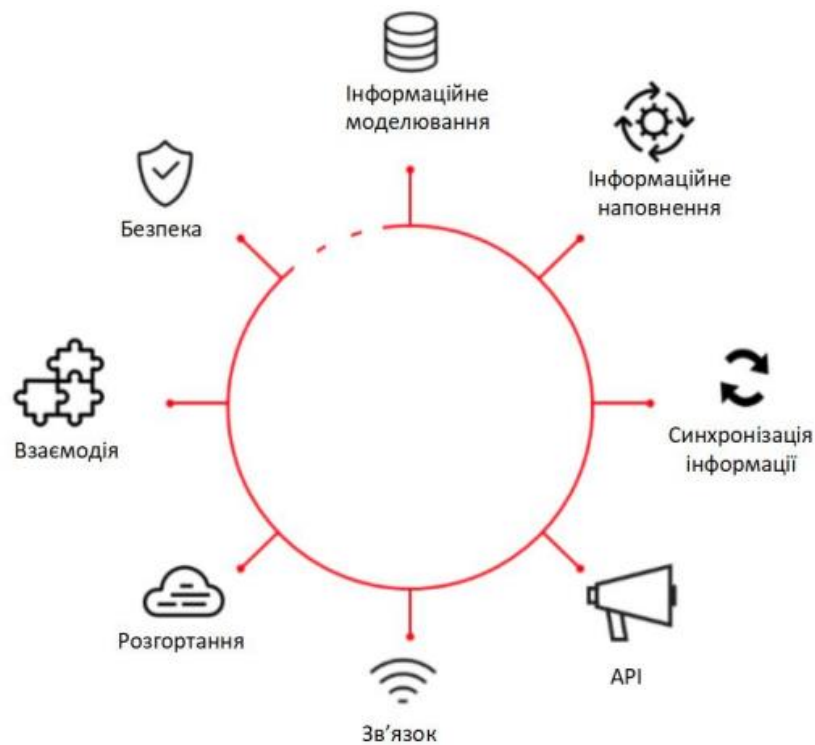


Рисунок 1.2 –Моделювання продуктивності активів

Переваги цифрових двійників (DT) в авіабудівній промисловості. Деякі з ключових переваг включають:

Дизайн

Цифрові двійники відіграють вирішальну роль на етапі проектування авіабудівних систем, таких як літаки та двигуни. Створюючи віртуальну копію потрібного активу, дизайнери та інженери можуть використовувати цифрові двійники для моделювання та аналізу його продуктивності в режимі реального часу. Це дозволяє їм отримати уявлення про те, як актив поводитиметься в різних умовах експлуатації, і визначити потенційні проблеми або області, які потрібно вдосконалити, перш ніж фізично будувати актив [3].

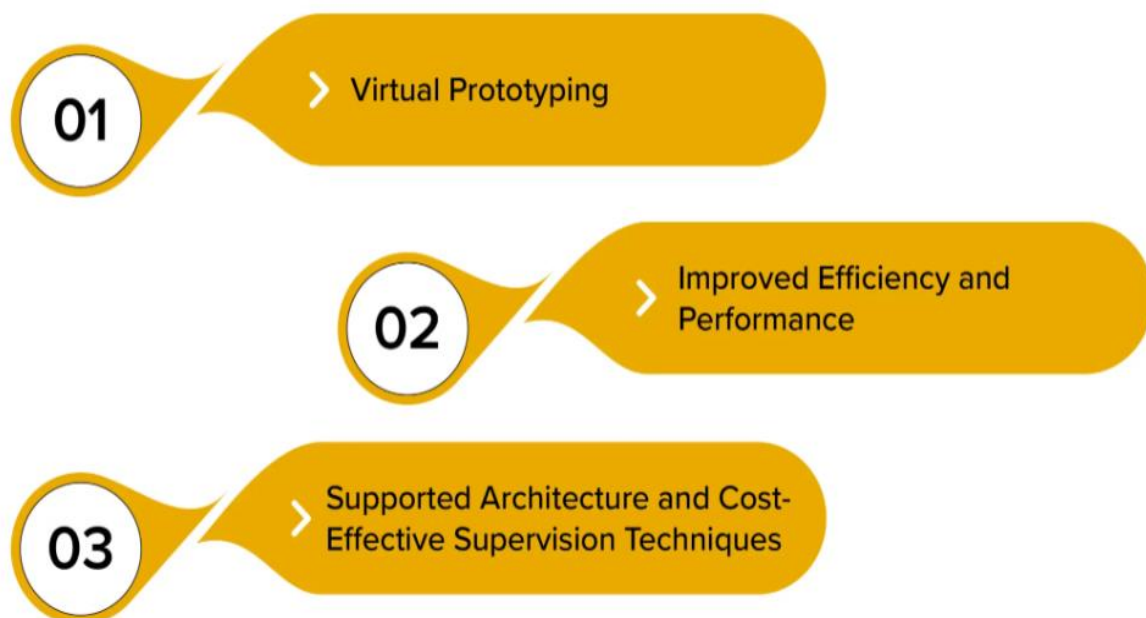


Рисунок 1.3 – Віртуальне прототипування

Наприклад, у випадку Boeing 787 Dreamliner використання цифрових двійників відіграло важливу роль у процесі проектування. Цифровий двійник літака дозволяє компанії Boeing моделювати його продуктивність і поведінку, враховуючи такі фактори, як аеродинаміка, структурна цілісність і економія палива. Проводячи моделювання та віртуальні випробування, Boeing може виявити будь-які недоліки конструкції, неефективність або проблеми з безпекою на ранній стадії. Це дає команді дизайнерів можливість приймати обґрунтовані рішення та вносити необхідні зміни в дизайн перед тим, як приступити до фізичного процесу виробництва. Здатність виявляти та вирішувати потенційні проблеми на етапі проектування за допомогою цифрових двійників не тільки допомагає створювати безпечніші літаки, але й сприяє підвищенню ефективності палива. Завдяки точному моделюванню характеристик різних конструктивних конфігурацій та оптимізації аеродинаміки літака виробники можуть робити конструктивні рішення, які призведуть до зменшення опору та покращення споживання палива. Це, у свою чергу, підвищує загальну ефективність літака, зменшуючи експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище, забезпечуючи кращу продуктивність і стійкість у галузі.

Тестування.

Цифрові двійники пропонують значні переваги на етапі тестування авіа-

будівних систем, дозволяючи виробникам оцінювати характеристики та поведінку літаків, двигунів та інших компонентів у віртуальному середовищі. Створюючи цифрову копію активу, наприклад A350 XWB у випадку з Airbus, виробники можуть симулювати та аналізувати його продуктивність у різних умовах експлуатації, включаючи екстремальні сценарії, відтворення яких у фізичних випробуваннях може бути складним або дорогим.

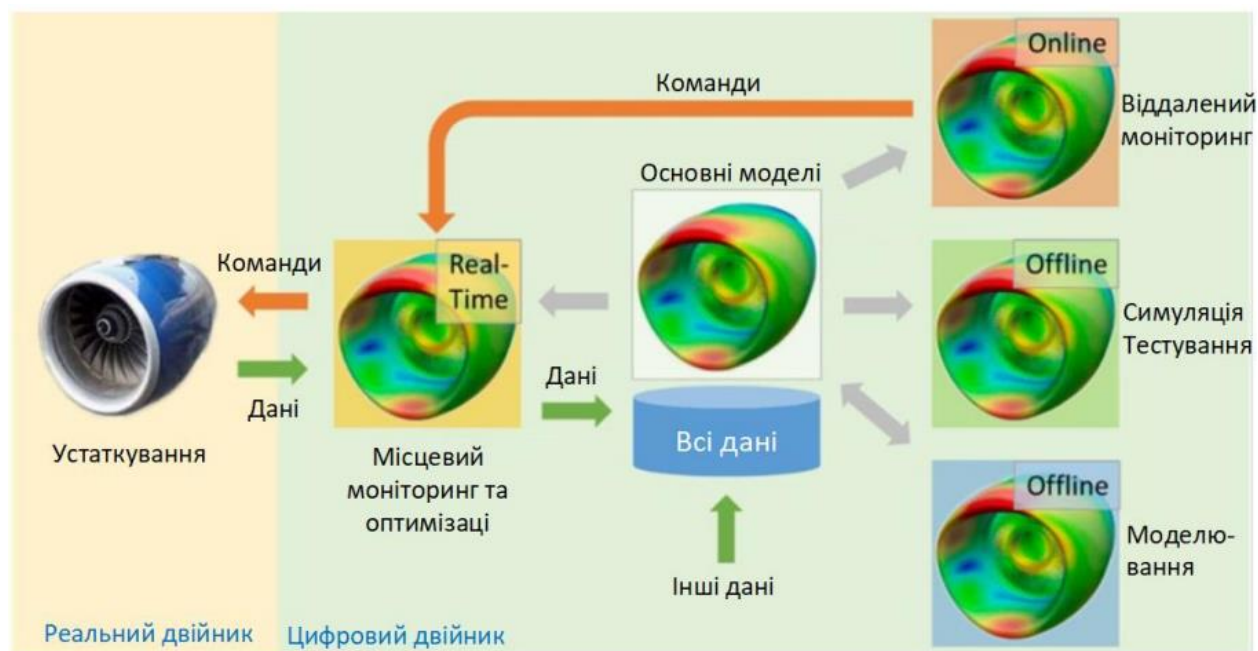


Рисунок 1.4 – Симуляція та аналіз у різних умовах.

У випадку з Airbus цифровий двійник A350 XWB відіграє життєво важливу роль у перевірці характеристик літака в екстремальних умовах, таких як велика висота та високі температури. Піддаючи ЦД симуляції цих складних сценаріїв, Airbus може збирати цінні дані та ідеї без необхідності фізично керувати літаком або проводити дорогі та трудомісткі фізичні випробування. Це дозволяє компанії оцінити характеристики літака, виявити будь-які потенційні проблеми та внести необхідні коригування для забезпечення оптимальних характеристик і безпеки [4].

Використовуючи цифрові двійники для тестування, авіабудівні компанії можуть значно скоротити час і ресурси, необхідні для традиційного фізичного тестування. Такий підхід не тільки заощаджує кошти, але й прискорює процес розробки та сертифікації авіабудівних систем, що сприяє швидкому виходу на ринок і підвищенню ефективності в галузі [5].

Обслуговування.

Цифрові двійники пропонують цінні переваги на етапі експлуатації авіабудівних систем, надаючи можливості моніторингу в реальному часі та прогнозованого обслуговування [3].

Lufthansa Technik, видатний гравець в авіаційній промисловості, використовує цифрові двійники для ефективного управління та обслуговування свого парку літаків. Створюючи цифрові копії своїх літаків, Lufthansa Technik може постійно контролювати стан і продуктивність кожного активу, забезпечуючи проактивне планування технічного обслуговування та скорочуючи час незапланованих простоїв [6].

Цифрові двійники літаків Lufthansa Technik служать мостом між фізичними активами та їх віртуальними аналогами, збираючи дані в реальному часі з датчиків та інших пристроїв моніторингу, встановлених на літаках. Потім ці дані аналізуються та порівнюються з очікуваною поведінкою цифрового двійника, що дозволяє операторам визначати потенційні проблеми або відхилення від нормальної роботи. Виявляючи ранні попереджувальні ознаки та аномалії, Lufthansa Technik може планувати технічне обслуговування та вирішувати проблеми до того, як вони переростуть у критичні збої. Цей підхід до прогнозованого технічного обслуговування не тільки мінімізує незаплановані простої, але й оптимізує використання ресурсів технічного обслуговування, знижуючи витрати та підвищуючи загальну ефективність роботи парку.

Навчання.

Цифрові двійники стали цінним інструментом для навчання в авіабудівній промисловості, пропонуючи пілотам безпечне та реалістичне середовище для вдосконалення їхніх навичок та зменшення ризику аварій. Створюючи віртуальні копії літальних апаратів або певних систем, цифрові двійники можуть імітувати різні сценарії та надавати пілотам навчальну платформу, яка дуже нагадує умови реального світу. Це дозволяє пілотам практикувати свої навички, процедури та приймати рішення в контрольованому та захоплюючому середовищі [4].

Зменшені витрати.

Цифрові двійники мають потенціал для значної економії коштів для авіа-

будівних компаній за рахунок підвищення ефективності та зменшення потреби у фізичному тестуванні. За допомогою цифрових двійників компанії можуть симулювати та аналізувати продуктивність авіабудівних систем віртуально, усуваючи потребу у дорогих і трудомістких фізичних прототипах. Створюючи цифрову копію літака, двигуна або компонента, компанії можуть оцінити його поведінку, виявити потенційні проблеми та оптимізувати його конструкцію чи роботу, перш ніж інвестувати у фізичне виробництво. Це не тільки економить матеріальні витрати, але й скорочує загальний час розробки.

Окрім оптимізації процесів проектування та тестування, цифрові двійники також сприяють зниженню операційних витрат. Постійно відстежуючи продуктивність і стан активів у режимі реального часу, компанії можуть раніше виявляти потреби в обслуговуванні та потенційні збої. Цей проактивний підхід дозволяє своєчасно втручатися та мінімізує ризик незапланованих простоїв, які можуть бути дорогими для авіабудівних операцій, що призводить до економії коштів для компанії [5].



Рисунок 1.5 – Структура цифрового двійника

Загалом, використання цифрових двійників в авіабудівній промисловості призводить до зниження витрат завдяки підвищенню ефективності, зменшенню залежності від фізичних випробувань, оптимізованому технічному обслуговуванню та

мінімізації часу простою. Ця економія може мати значний вплив на фінансові показники та конкурентоспроможність авіабудівних компаній, дозволяючи їм більш ефективно розподіляти ресурси та інвестувати в подальші інновації та вдосконалення. Цифрові двійники вже довели свою цінність в авіабудівній промисловості, і очікується, що їхнє значення зростатиме. Вони дозволяють підвищити безпеку, підвищити ефективність, зменшити витрати, прискорити інновації та покращити процес прийняття рішень. Використовуючи можливості віртуального моделювання та аналізу даних у реальному часі, цифрові двійники мають потенціал змінити форму аерокосмічної промисловості, сприяючи прогресу та прокладаючи шлях для безпечнішого, ефективнішого та стійкого майбутнього авіації [3].

1.2 Опис авіабудівного підприємства з аналізом вихідних даних для створення імітаційної моделі

Авіаційна промисловість є сукупністю підприємств, що займаються проектуванням, виробництвом, ремонтом, модернізацією та переплануванням літальних апаратів різних класів. Вона є частиною транспортного машинобудування. Негативною особливістю цієї галузі є велика частка витрат на живу працю, яка може сягати понад 40% вартості готової продукції. Це обумовлено складністю технологічних процесів і високими вимогами до точності при виготовленні складних підсистем, таких як авіаційні двигуни, що потребують точного складання та обробки деталей. В Україні понад 90 підприємств займаються виробництвом компонентів, вузлів та готових літальних апаратів [7].

Сьогодні в Україні державний авіабудівний концерн «Антонов» (ДАК «Антонов») здійснює повний цикл робіт, що охоплює всі етапи від розробки до введення в експлуатацію літальних апаратів. Це включає проектування, конструювання дослідних зразків, проведення льотних випробувань, сертифікацію та підтримку в процесі експлуатації. В активі концерну — 20 моделей нових літаків та понад 100 спеціалізованих модифікацій, призначених для різних військових та цивільних потреб [8].

До складу ДАК «Антонов» входять чотири найбільші авіаційні підприємства: ДП «Антонов» (НТК ім. О.К. Антонова), Харківське державне авіаційне виробниче підприємство, Київський завод «Авіант» і «Завод 410 ЦА».

Підприємство «Завод 410 ЦА» розташоване по сусідству з аеропортом «Київ» (Жуляни), що дає можливість без зайвих транспортних витрат обслуговувати цивільні літаки.

Підприємство здійснює:

- фарбування вертольотів і літаків поліуретановою фарбою;
- ремонт і техобслуговування літаків Ан-2, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Ан-32, Ан-72, Ан-74, Як-18Т та Як-52;
- ремонт і техобслуговування вертольотів Мі-2 і Ка-26;
- ремонт авіадвигунів Д-36, РУ-19-300, АІ-25 і АІ-9;
- переобладнання літаків Ан-26 і Ан-30 в пасажирські, салонні та інші спеціалізовані варіанти;
- випуск медичного обладнання для автомашин «швидкої допомоги»;
- випуск пристроїв електрохімічного захисту підземних комунікацій.

Виробничі площі розділено на відповідні приміщення:

- Головний корпус;
- Цех з ремонту планера повітряного судна;
- Цех попереднього збирання літаків;
- Цех кінцевого збирання літаків;
- Цех наземного випробування систем;
- Цех фарбування літаків.

Цех фарбування літаків є будівлею рамної конструкції змінного перерізу з несучими каркасами зі зварних двотаврів, з повздовжнім розміщенням ригелів та балок, з передбаченими для встановлення підйомно-транспортного обладнання, підмостовими колонами (див. рисунок 1.6).

Габаритні розміри цеху 42 м х 36 м х 12,8 м , загальна площа 1500 м².



Рисунок 1.6 – Цех фарбування літаків

При проектуванні прийняті наступні параметри:

- у повздовжньому напрямку крок рам – 4,50 м;
- у поперечному напрямку – однопролітного 42 м;
- висота до низу несучих конструкцій – 12,8 м. (див. рисунок 1.7)

У будівлі можуть використовуватись матеріали, що належать до негорючих речовин в холодному стані.

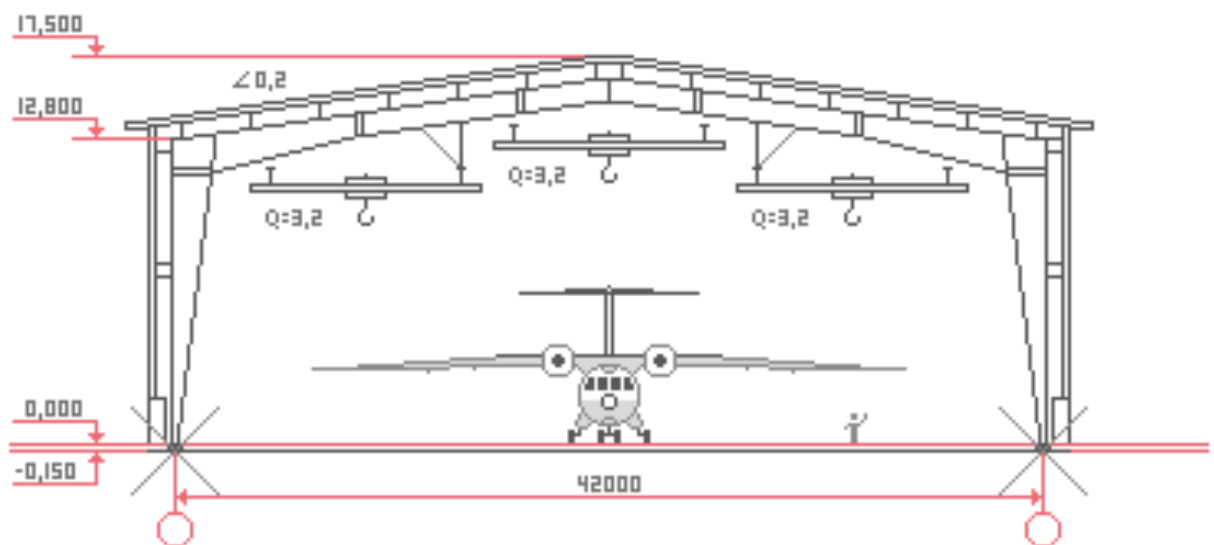


Рисунок 1.7 – Габаритні розміри цеху.

В цеху фарбування літаків використовується наступне обладнання:

- самохідні візки з підйомною платформою (рисунок 1.8) – 8 штук;
- телескопічні платформи підвісні – 4 штуки;



Рисунок 1.8 – Візок з підйомною платформою

Робочі майданчики:

- Драбина-поміст – 4 штуки
- Підмостки металеві – 6 штук
- Помости маляра – 4 штуки.

Штат працівників цеху фарбування літаків:

- Керівник цеху – 1 особа;
- Керівник нижньої ланки – 1 особа;
- Технолог- 1 особа;
- Бригада робітників – 20 осіб.

Тривалість робочої зміни маляра в авіаційному цеху з фарбування літаків становить 8 годин на день за стандартного графіка (40 годин на тиждень) з трьома додатковими перервами по 15 хвилин для провітрювання, зняття напруги та профілактики впливу хімічних речовин.

Швидкість нанесення лакофарбового покриття при фарбуванні літака традиційним методом (без використання роботів) складає до 10 м² на годину для одного

фарбувальника при нанесенні одного шару фарби. Нанесення покриття в 2–3 шарів значно збільшує час фарбування, оскільки необхідно дочекатись висихання кожного шару. Час висихання може варіюватись в залежності від типу фарби та температури навколишнього середовища.

1.3 Технологія фарбування літаків

Процес фарбування цивільного літака може займати в середньому 10 днів, залежно від факторів:

- розмір літака;
- складність малюнку фарбування;
- досвід команди.

На фарбування літака витрачається до 500 літрів лакофарбових матеріалів. Літак повністю перефарбовують. На повітряне судно наносять ґрунтовку та кілька шарів фарби і лаку.

Коли літак приходить на фарбування із заводу, то змивається лише верхній шар ґрунтовки в кілька мікронів, що була нанесена на заводі. Якщо відбувається вторинне фарбування, то борт очищується до металу. Для цього використовується спеціальний реагент, який називають «змивкою».



Рисунок 1.9 – Процес змивання.

У процесі змивки колишня фарба відшаровується і шматками відвалюється від літака.



Рисунок 1.10 – Відшаровування слоїв фарби.

Після чого поверхня зачищається до металу, знежирюється та наноситься ґрунтовка.

Перед ґрунтовкою ретельно заклеюють усі елементи, які не повинні бути забарвлені (вікна, шасі, антени, елементи двигунів тощо) щільним папером, запасів якого в ангарі досить багато. На один літак йде до двох-трьох кілометрів такого паперу.



Рисунок 1.11 – Рулони паперу для заклеювання.



Рисунок 1.12 – Процес заклеювання елементів літака.

Зазвичай процес підготовка та очищення поверхні займає 1–2 дні. Поверхня літака повинна бути ретельно очищена від бруду, старої фарби та корозії, щоб нове покриття добре трималося. Коли ґрунт висох, знову слідує колишня операція з сушіння та знежирення, після чого наносять базовий шар фарби. Це може зайняти від 3 до 7 днів залежно від кількості шарів фарби та складності роботи.



Рисунок 1.13 – Процес фарбування

Літак фарбують в кілька етапів, наносячи різні шари для забезпечення стійкості та довговічності покриття. Процес фарбування борту електростатичний, тобто у фарби та корпусу літака різнойменні заряди, тому фарба притягується та лягає більш рівномірно.

Якщо на літаку є складний малюнок, логотипи або інші деталі, це може зайняти ще кілька днів. Часто для цього використовуються спеціальні шаблони, готують трафарети. Вони вирізаються на плотарі і наклеюються на корпус перед нанесенням ліvreї.



Рисунок 1.14 – Наклеювання трафаретів

Над цим працює цілий дизайнерський відділ. Фахівці ретельно прораховують усі деталі на 3D моделі літака, щоб трафарети були наклеєні правильно, і не було перекосу при нанесенні малюнка.

При кожному етапі фарбування одночасно працює до 20 малярів та фахівців, щоб шари ґрунту та фарби лягали та висихали одночасно на потрібній поверхні літака.

Крім телескопічних платформ, використовуються такі самохідні візки з підйомною платформою, що працюють від електрики.



Рисунок 1.15 – Бригада малярів

Для того, щоб дістати до найважчих місць на кілі і верхніх частин літака використовуються такі телескопічні платформи, на яких можна піднятися під верх ангара, якщо потрібно (рисунок 1.16). А висота тут може складати до 30 метрів. У роботі використовується одразу чотири платформи, по дві на кожну сторону борту.



Рисунок 1.16 – Телескопічні платформи.

Останній етап фарбування - нанесення прозорого лаку, який створить додатковий захист ліvreї в процесі експлуатації літака. Після завершення фарбування не-

обхідно дати час на висихання кожного шару фарби, а також провести остаточну перевірку якості роботи. Це може зайняти від 1 до 3 днів. Після того, як лак висох, літак заковчують і зважують на спеціальних вагах, щоб дізнатися скільки він важить після фарбування (рисунок 1.17). Літак важчає приблизно на 100 кг.

Загальна площа покриття повітряного судна досягати 1000–1500 м².



Рисунок 1.17 – Зважування літака.

Під кожен стійку шасі розміщуються ваги, після чого підсумовуються цифри на всіх вагах.

Всього процес фарбування літака може зайняти від 7 до 21 дня або більше, в залежності від конкретних обставин. Це може бути навіть довше, якщо є непередбачені затримки.

РОЗДІЛ 2 ОПИС КІБЕРФІЗИЧНИХ ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА

2.1 Технології роботизованого фарбування літаків

Автоматизоване фарбування за допомогою роботів-маніпуляторів може значно пришвидшити процес фарбування літака, порівняно з традиційним ручним методом. Така технологія все більше впроваджується в авіаційну індустрію, оскільки вона дозволяє досягти високої точності, ефективності та зменшити витрати на працю.

Роботизована технологія фарбування не тільки встановлює нові стандарти якості лакофарбового покриття, а й приносить ряд екологічних переваг авіаційному сектору. Наприклад, незважаючи на те, що наноситься оптимальна товщина фарби, витрати фарби значно зменшуються завдяки тому, що мінімізується надмірне розпилення. І, оскільки використовується менше розчинників, роботизоване фарбування скорочує кількість летких органічних сполук, що викидаються в атмосферу.

Часовий аспект автоматизованого фарбування:

1. Підготовка та очищення: Як і в традиційному методі, підготовка поверхні займає час, однак завдяки автоматизованим процесам цей етап може бути дещо зменшений, особливо якщо використовуються роботизовані системи для очищення та підготовки поверхні. Це займає 1–2 дні.

2. Нанесення основного шару фарби: Роботи-маніпулятори здатні рівномірно наносити фарбу без необхідності в тривалих перервах на сушіння, оскільки вони точно контролюють товщину шару і не допускають дефектів через людський фактор. Процес може зайняти 2–5 днів залежно від розміру літака та складності малюнку. Оскільки роботи можуть працювати без перерв, цей етап значно прискорюється порівняно з ручним нанесенням.

3. Декоративні елементи та деталі: Якщо потрібно нанести складні логотипи чи графічні елементи, це також може бути автоматизовано, проте для цього використовуються спеціальні роботи, здатні працювати з точними шаблонами. Це займає 1–2 дні в залежності від складності дизайну.

4. Висихання та перевірка: Хоча роботи можуть наносити фарбу швидше, процес сушіння кожного шару залишається важливим для забезпечення належної якості покриття. Автоматизація може пришвидшити процес, оскільки роботи можуть працювати в тандемі з сушильними камерами або системами обігріву. Однак на сушіння кожного шару фарби це все одно впливає лише частково.

Загальний час:

Автоматизоване фарбування може значно скоротити час, необхідний для фарбування літака, з 7–21 дня до 3–7 днів. Це дозволяє значно зменшити витрати часу на технічне обслуговування і підвищити ефективність роботи, особливо для авіакомпаній, де літаки мають великий парк і потребують регулярного фарбування.

Також варто зазначити, що роботизовані системи можуть працювати на різних етапах фарбування без перерв, що збільшує продуктивність та дозволяє знижувати вартість фарбування. Але, як і в будь-якому процесі, для досягнення оптимальних результатів необхідно враховувати безліч технічних та матеріальних чинників.

2.2 Роботизовані системи та їх характеристики

Існує кілька прикладів роботизованих систем, які використовуються для автоматизованого фарбування літаків. Ці роботи використовуються в промисловості для забезпечення точності, швидкості та зниження витрат на робочу силу. Ось кілька прикладів роботів та їх характеристик:

1. Робот KUKA Robots (KUKA Systems)

Модель: KUKA KR QUANTEC

Характеристики:

- Тип робота: 6-осний промисловий робот.
- Робочий діапазон: до 3,2 метра.
- Максимальне навантаження: до 240 кг.
- Швидкість: до 2 м/с.
- Точність: ± 0.05 мм.

Особливості: Ці роботи використовуються в багатьох галузях, включаючи фарбування. Вони можуть наносити фарбу на великі площі, автоматично коригуючи напрямки і товщину шару. У KUKA є спеціалізовані роботи для нанесення покриттів на авіаційні компоненти, які інтегровані в автоматизовані виробничі лінії [9].

Використання: KUKA забезпечує високоточне фарбування поверхонь літаків і компонентів, автоматичне коригування рухів для досягнення рівномірного покриття.

2. Робот ABB Robots (ABB Robotics)

Модель: ABB IRB 6700

Характеристики:

- Тип роботи: 6-осний промисловий робот.
- Робочий діапазон: до 2,6 метра.
- Максимальне навантаження: до 235 кг.
- Швидкість: до 1,5 м/с.
- Точність: ± 0.05 мм.

Особливості: IRB 6700 широко використовується для різноманітних завдань, зокрема для фарбування великих авіаційних та автомобільних деталей. Робот може використовуватися в автоматизованих системах фарбування для забезпечення рівномірного нанесення матеріалів. Завдяки високій точності він мінімізує витрати фарби та час, що потрібен для фарбування великих поверхонь [10].

Використання: ABB має розвинену лінію роботів для автоматизованого нанесення фарби, що дозволяє зменшити витрати матеріалів і підвищити ефективність процесу.

3. Робот Fanuc Robots

Модель: Fanuc M-20iA

Характеристики:

- Тип роботи: 6-осний промисловий робот.
- Робочий діапазон: до 1,73 метра.
- Максимальне навантаження: до 20 кг.
- Швидкість: до 2 м/с.

- Точність: ± 0.02 мм.

Особливості: Цей робот ідеально підходить для точних і швидких операцій, таких як фарбування деталей літаків або автомобілів. Завдяки високій швидкості і точності Fanuc M-20iA може виконувати завдання фарбування на великих і складних поверхнях з мінімальною кількістю помилок [11].

Використання: Fanuc використовує ці роботи в інтегрованих автоматизованих системах для фарбування та обробки деталей. Завдяки своїй гнучкості та точності, роботи можуть виконувати завдання з високою якістю нанесення покриття.

4. Робот PaintRobot (by Stäubli Robotics)

Модель: Stäubli TX2-140

Характеристики:

- Тип робота: 6-осний промисловий робот.
- Робочий діапазон: до 1,4 метра.
- Максимальне навантаження: до 12 кг.
- Швидкість: до 2,5 м/с.
- Точність: ± 0.02 мм.

Особливості: Stäubli TX2-140 використовує спеціальні технології для роботи з фарбами та іншими рідкими матеріалами. Це дозволяє мінімізувати розбризкування та гарантувати рівномірне покриття. Цей робот використовує спеціалізовані маніпулятори для фарбування, які можуть бути оснащені різними типами розпилювачів [12].

Використання: Цей робот ідеально підходить для використання в авіаційній та автомобільній промисловості для високоточних робіт, таких як фарбування або нанесення покриттів.

Загальні характеристики роботів для фарбування:

- Промислові роботи зазвичай мають високу швидкість і точність, що дозволяє забезпечити рівномірне покриття без зайвих витрат фарби.
- Технології управління: Вони оснащені системами для точного управління товщиною шару фарби, що дозволяє уникнути недофарбованих або перефарбованих ділянок.

- Автоматизація: Роботи можуть працювати в інтегрованих лініях з автоматичними системами для подачі фарби та сушіння, що значно зменшує час на фарбування.

6. Нідерландська компанія Хурес розробила робота РТК ARP (Automated Paint Robot, "автоматичний фарбувальний робот") для нанесення на літаки візерунків будь-якої складності. Система на базі промислового маніпулятора Yaskawa має піскоструминний апарат, розпилювач COTS з ротаційним дзвінком до платформи LCR. Під час друку робот здатний повертати друкуючий блок відповідно до геометрії планера літака. Програмне забезпечення складається з інтерфейсу RoboDK, інтегрованого з Autodesk Fusion 360 [13].



Рисунок 2.1 – Роботизоване фарбування

На основі дослідження було розроблено автоматизований процес наскрізного фарбування, який включає такі функції та програми:

- **Шліфування:** процес, який злегка «шліфує» ґрунтовку для (повторної) активації перед розпиленням шару фарби. Подібне шліфування повторно активує існуючий шар фарби перед нанесенням наступної фарби.
- **Очищення:** процес очищення поверхні після завершення процесу видалення фарби. Ця функція також підходить для очищення літака під час перевірок А і В.

- **Розпилення:** процес нанесення золь-гелю, ґрунтовки та прозорих покриттів за допомогою пістолета-розпилювача.
- **Ротаційне дзвонове розпилення:** процес, який дозволяє набагато ефективніше фарбувати за допомогою електростатичного процесу та зменшує витрату фарби для досягнення того самого результату, що й звичайні методи.
- **УФ-затвердіння (сушіння):** процес, який скорочує час висихання прозорих покриттів з поточних 14 годин до 2 годин.
- **(Частковий) прямий друк:** процес, який дозволяє повністю маскувати та фарбувати літальний апарат у кольори.

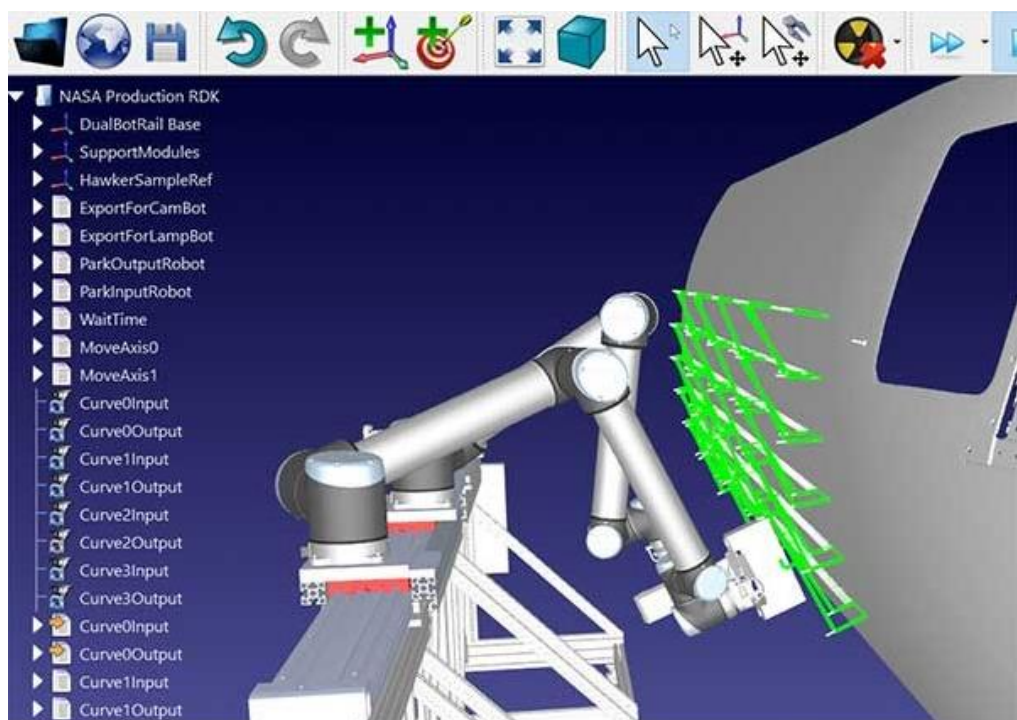


Рисунок 2.2 – RoboDK

Якщо досі на фарбування лайнера витрачалося до 2 тижнів праці бригади людей, то за оцінкою компанії Хурес за допомогою робота час роботи скоротиться приблизно до 5 діб. Крім того, автоматизація процесу фарбування знизить витрати на оплату праці на 80%, а також заощаджуватиме до 30% фарби в результаті більш ефективного розпилення, відповідно друку. Вища якість і передбачуваність процесу фарбування. Жодного збільшення витрат із складними схемами ліvreї в результаті маркетингових кампаній або нових схем брендингу. Відсутність небезпечних парів фарби та більш безпечне та здорове робоче середовище [13].

Ці роботи дозволяють прискорити процес фарбування літаків, знизити витрати на матеріали і покращити якість покриття завдяки високій точності нанесення фарби.

Кількість робіт, що можуть бути розміщені в одному цеху для фарбування літака залежить від розмір цеху, розташування робочих станцій, складності фарбувальних операцій та типу роботи, яку виконують роботи.

Основні аспекти, які впливають на кількість робіт в цеху:

1. Розмір та планування цеху

- Площа цеху: У великих промислових цехах для фарбування літаків часто використовуються спеціально обладнані зони для кожного етапу процесу (наприклад, для підготовки, фарбування та сушіння). Просторі цехи можуть вмістити від кількох до десятків робіт в залежності від їх розміру і розташування.

- Вертикальні і горизонтальні осі: Деякі роботи можуть бути змонтовані на спеціальних рейках або підвісних системах, що дозволяє їм рухатись в трьох вимірах (по вертикалі, горизонталі і вздовж літака), що допомагає максимально ефективно використовувати простір.

2. Типи робіт і їх завдання

- Фарбування великих елементів: Для фарбування великих частин літака (наприклад, корпусу або крил) може використовуватися декілька робіт, які працюють одночасно на різних частинах літака. Такі роботи можуть бути оснащені великою кількістю розпилювачів для забезпечення рівномірного покриття.

- Фарбування дрібних елементів або деталей: Для фарбування дрібніших компонентів літака (наприклад, окремих панелей або бортових елементів) може бути достатньо 1-2 робіт, що працюють паралельно.

3. Автоматизація та інтеграція з іншими системами

У великих автоматизованих виробничих лініях може використовуватися не лише самі роботи для фарбування, а й додаткові автоматизовані системи, такі як конвеєри, сушильні камери, системи подачі фарби та фільтрації повітря. Це може значно підвищити ефективність роботи робочих станцій, зменшивши необхідну кількість робіт для виконання окремих етапів.

4. Тип робота і конфігурація робочих станцій

Зазвичай для фарбування літаків використовують роботів з великими діапазонами руху, щоб охопити великі площі. В залежності від того, чи йдеться про фарбування всього літака, чи тільки окремих частин (наприклад, хвостових елементів або двигунів), можна комбінувати роботів таким чином, щоб вони працювали узгоджено або по черзі.

5. Кількість роботів на одну одиницю продукції (літак або деталь)

- Цілісне фарбування літака: Для фарбування повного літака можуть бути використані від 3 до 10 роботів, якщо мова йде про великий цех із повним автоматизованим процесом фарбування. Це може включати кілька роботів для нанесення основного шару, кількох для нанесення декоративних елементів або логотипів, а також окремих роботів для фарбування деталей з більш складною геометрією.

- Фарбування окремих елементів: Для фарбування окремих елементів або деталей літака, таких як крило, хвіст або панелі, може вистачити 1–2 роботів для кожної з цих частин літака.

Приклад розміщення роботів:

1. Невеликий цех (менше 1000 м²): У такому цеху може бути встановлено від 2 до 5 роботів для фарбування, в залежності від планування цеху і типу виконуваних робіт. Такі роботи можуть бути мобільними або стаціонарними, і можуть працювати над різними частинами літака одночасно.

2. Середній цех (1000–3000 м²): Тут може бути розміщено від 4 до 10 роботів. Вони можуть працювати паралельно на різних етапах, таких як нанесення основного шару фарби, фінальне покриття або нанесення деталей, таких як логотипи та графіка.

3. Великий цех (понад 3000 м²): У великих автоматизованих цехах може бути від 10 до 20 роботів, які працюють на різних етапах процесу, включаючи очищення поверхні, основне фарбування, нанесення декоративних елементів та сушку. Оскільки робочі станції в таких цехах можуть бути інтегровані, кількість роботів залежить від рівня автоматизації.

Кількість роботів на різних етапах:

- Підготовка та очищення: Автоматизовані системи можуть використовувати 1–2 роботів для очищення та підготовки поверхні.
- Нанесення основного шару фарби: 2–6 роботів для покриття великої площі.
- Нанесення фінішного шару та декорування: 1–3 роботів для нанесення графічних зображень та логотипів.
- Сушіння та перевірка: Паралельно з фарбуванням використовуються автоматизовані сушильні камери, але роботи, які займаються сушінням, звичайно не входять до цього переліку.

Можна зробити висновок, що кількість роботів у цеху для фарбування літака залежить від планування приміщення і типу фарбувальних робіт, але в середньому для автоматизованого фарбування одного літака може бути використано від 4 до 15 роботів. У великих цехах з інтегрованими автоматизованими системами цей показник може бути ще більшим, дозволяючи працювати кільком роботам одночасно, що значно прискорює процес фарбування.

2.3. Механізми контролю відстані в роботизованих системах

У роботизованих системах зазвичай вбудовані датчики, які постійно контролюють відстані, швидкість, положення в просторі. Це дозволяє підтримувати і коригувати роботу залежно від зміни рельєфу поверхні літака (наприклад, при фарбуванні складних контурів).

Так, для контролю відстані між соплом фарбувального робота-маніпулятора і поверхнею літака використовуються різні типи датчиків. Вони необхідні для забезпечення стабільного та точного нанесення фарби, особливо коли обробляються складні або змінювані поверхні, як у випадку з корпусом літака. Це дозволяє підтримувати постійну відстань і коригувати її залежно від зміни рельєфу поверхні (наприклад, при фарбуванні складних контурів). Оптимальна відстань між соплом і поверхнею літака при роботі робота-маніпулятора зазвичай становить 200–300 мм, але може коригуватись залежно від специфікацій фарбувального обладнання і типу

покриття.

1. Лазерні датчики LDS (Laser Displacement Sensors)

Лазерні датчики вимірюють відстань до об'єкта за допомогою лазерного променя. Вони дуже точні і можуть працювати з високою швидкістю, що робить їх ідеальними для контролю відстані в фарбувальних роботах.

- Принцип роботи: Лазерний промінь відбивається від поверхні об'єкта і повертається до датчика. Вимірюючи час, який потрібен для повернення сигналу, датчик визначає відстань.

- Переваги:
 - Висока точність (до мікрометрів).
 - Працюють з різними типами поверхонь, включаючи глянцеві або матові.
 - Великий діапазон вимірювань (від кількох мм до кількох метрів).
- Приклад: Keyence LK-G Series (Рисунок 2.3)



Рисунок 2.3 – Датчик Keyence LK-G Series

2. Інфрачервоні датчики відстані (Infrared Sensors)

Інфрачервоні датчики використовують інфрачервоні промені для визначення відстані до об'єкта. Вони часто використовуються в системах, де потрібна висока

швидкість вимірювання, але точність може бути менш критичною, ніж у лазерних системах.

- Принцип роботи: Інфрачервоні промені відбиваються від поверхні і повертаються до датчика, визначаючи відстань.
- Переваги:
 - Швидкі вимірювання.
 - Може бути використано на великих відстанях.
- Приклад: SICK DT50 [14] (рисунок 2.4)



Рисунок 2.4 – Датчик SICK DT50

5. Оптичні датчики (Optical Sensors)

Оптичні датчики можуть використовувати технології на основі відбиття світла або спеціальних камер для вимірювання відстані. Вони мають високий рівень точності та здатні працювати при різних умовах освітлення.

- Принцип роботи: Оптичні датчики використовують відбиття світла для визначення відстані до поверхні.
- Переваги:
 - Висока точність.
 - Можливість роботи з різними поверхнями.
- Приклад: Leuze electronic [15] (рисунок 2.5)



Рисунок 2.5 – Датчик від Leuze electronic

Вибір датчика:

Вибір датчика залежить від кількох ключових факторів:

- Тип поверхні: Для гладких, глянцевих або темних поверхонь лазерні датчики можуть бути кращими, оскільки вони забезпечують високу точність.
- Умови навколишнього середовища: Для умов з пилом або іншими перешкодами можуть підійти ультразвукові або радіочастотні датчики.
- Вартість і точність: Лазерні датчики зазвичай дорожчі, але і точніші, ніж інші типи.

Ці датчики інтегруються в систему робота-маніпулятора, допомагаючи забезпечити стабільну відстань між соплом і поверхнею літака, що є критично важливим для якісного нанесення фарби.

РОЗДІЛ 3 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ, МОДЕЛІ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Опис програми RobotStudio для використання робота ABB IRB5400

ABB RobotStudio — це потужне програмне забезпечення для створення моделей і цифрових копій (цифрових двійників) реальних об'єктів або систем шляхом офлайн-програмування. Дозволяє програмувати і вносити зміни без необхідності зупиняти виробництво, прямо з офісу на ПК, спостерігаючи дистанційно за процесами на виробничій лінії [16].

Програмне рішення від ABB дає змогу візуалізувати використання роботів і їхнього обладнання, зокрема для автоматизованого фарбування літаків [17].



Рисунок 3.1 – Офлайн-програмування в програмі Robot Studio

Одним з основних аспектів програмування роботів є робота з координатами. Вони визначають місцезнаходження точок у просторі, що дає змогу роботам точно виконувати задані операції.

ABB RobotStudio надає можливість точно моделювати рухи робота, використовуючи координати. Це програмне забезпечення створює комфортне середовище для розробки, візуалізації та тестування роботизованих програм. Користувач може задавати координати для різних точок робочого простору, таких як точки початку операції, точок траєкторії руху або точок взаємодії з об'єктами, а також налаштовувати робота для виконання різноманітних завдань [18].

Програмування здійснюється через зручний інтерфейс, де можна вручну вводити координати або ж встановлювати точки та вказувати траєкторії за допомогою миші, з урахуванням геометрії та взаємного розташування елементів. Потім можна створювати послідовності дій для робота, вказуючи необхідні кроки для досягнення визначеної мети.

RobotStudio також дозволяє симулювати програму до її реального застосування на робочому місці. Це дає змогу виявити й усунути можливі помилки ще на етапі тестування, що дозволяє заощадити час і ресурси. (рисунок 3.2).

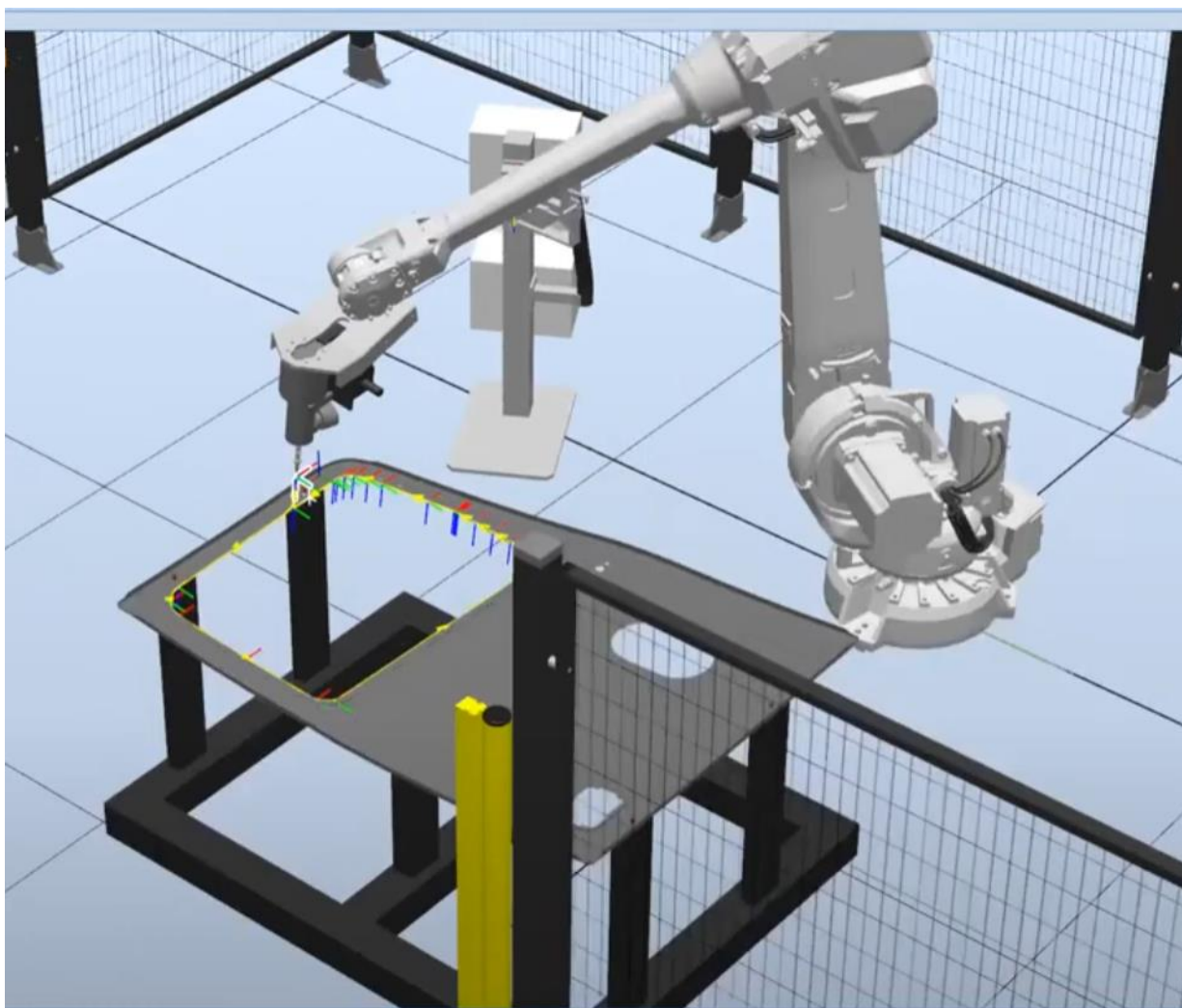


Рисунок 3.2 – Симуляція траєкторії руху робота в програмі Robot Studio.

Однією з основних переваг RobotStudio є його здатність інтегруватися з реальними виробничими системами. Це дозволяє знизити ймовірність помилок у програмуванні та оптимізувати виробничі процеси ще до їх впровадження в реальному

середовищі. Наприклад, інструменти для моделювання та симуляції траєкторій руху роботів допомагають ефективно відтворювати й налаштовувати процеси, такі як автоматичне фарбування за допомогою роботів-маніпуляторів. Це, у свою чергу, сприяє покращенню швидкості, ефективності та економічності виробничих процесів. В програмі є можливість створювати користувацькі бібліотеки інструментів, об'єктів та обладнання для моделювання, що розширює можливості для розробки й симуляції роботизованих і автоматизованих систем.

Для виконання операції фарбування було запропоновано використати роботів ABB IRB5400, що дозволяє підвищити ефективність, а також зменшити залежність від людського фактору [19] (рисунок 3.3).

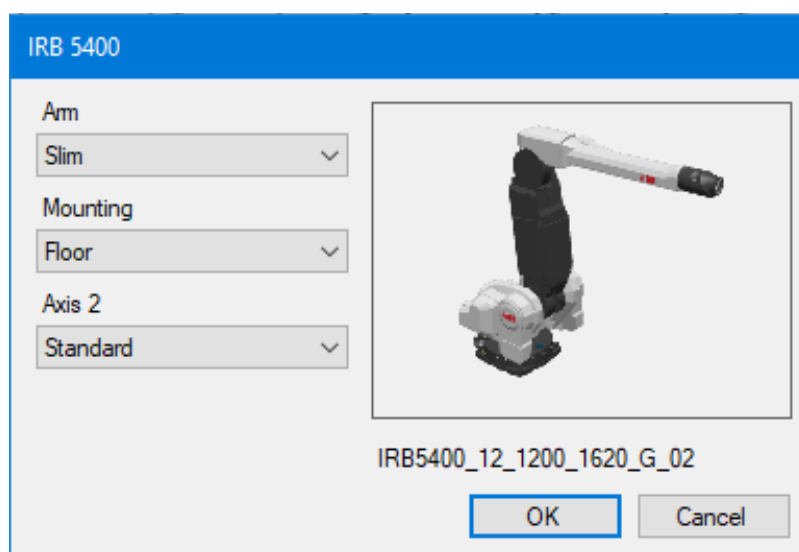


Рисунок 3.3 - Зображення ABB IRB5400

ABB IRB5400 це потужний і тонкий різнобічний фарбувальний робот з тонкою рукою, великими прискореннями і швидкістю, в поєднанні з великою робочою зоною і унікально рухомим зап'ястям. Технологія полого зап'ястя ABB з неперевершеною рухливістю в 140° і в поєднанні з тонкою горизонтальною рукою дозволяють повністю фарбувати складні вироби. IRB 5400 може бути встановлений на трек.

Основні характеристики ABB IRB 5400 з робочою рукою Slim:

Тип монтажу:

- Підлоговий монтаж — Робот встановлюється на підлогу для оптимального використання робочого простору та забезпечення високої маневреності.

Технічні характеристики:

- Максимальне навантаження: 6 кг.

- Робочий радіус: від 1,5 м до 2,55 м в залежності від конфігурації та використовуваного оснащення.
- Точність: ± 0.05 мм — висока точність рухів дозволяє досягати рівномірного і точного покриття фарбою.
- Кількість осей: 6 осей, що забезпечує велику гнучкість при виконанні складних маневрів.

Габарити та робочі зони вказано на схемі [19] (рисунок 3.4)

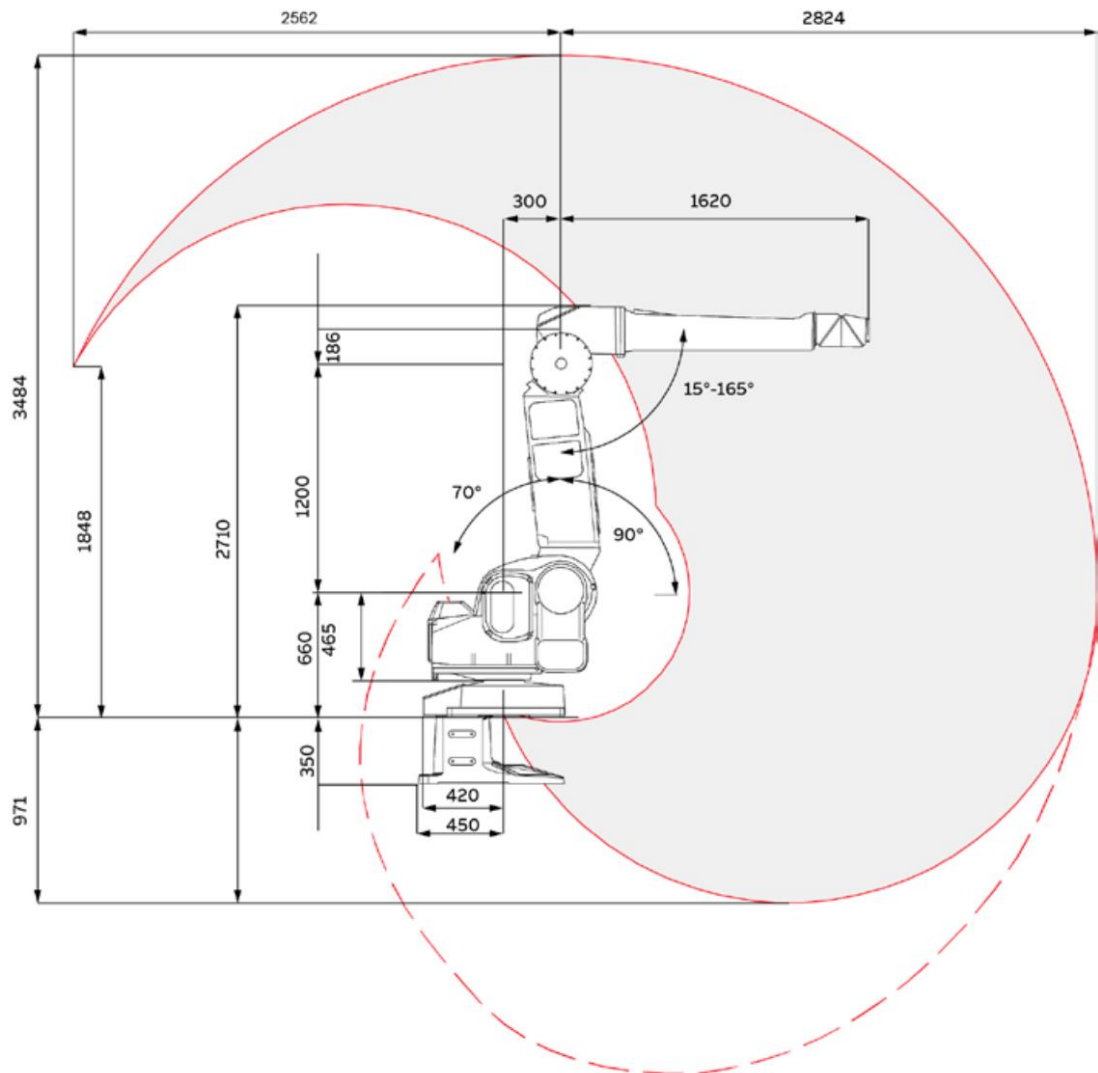


Рисунок 3.4 - Схема IRB5400

Використання для фарбування:

- Рівномірне розпилення — Розроблений для роботи з системами фарбування, включаючи пневматичні розпилювачі, що дозволяє досягати рівномірного покриття.

- Інтеграція з іншими системами — Ідеально поєднується з автоматичними системами подачі фарби та насосами для точного дозування.
- Контроль якості фарбування — Можливість налаштування траєкторії рухів для досягнення максимальної якості покриття без пропусків і надлишку фарби.

Захист від зовнішніх факторів:

- IP 67 — Високий рівень захисту від пилу та води, що дозволяє працювати в агресивних виробничих середовищах, де потрібна стійкість до хімічних речовин (наприклад, фарб).

Висока швидкість, управління зі зворотним зв'язком для інтегрованого процесу (IPS) забезпечує рівномірну товщину і максимальну якість покриття.

IRB5400 використовує систему управління IRC5P – нове покоління систем управління фарбувальних роботів спеціально розроблене для фарбувальних камер. FlexPainPendant має дружній інтерфейс і мультимовну підтримку і налаштовується софт Rob View5 для управління діагностики фарбуванням, і наші програми для віддаленого програмування і налагодження [18].



Рисунок 3.5 – Система управління IRC5P

Швидкість подачі робота-маніпулятора при фарбуванні літака залежить від типу фарби, товщини шару, точності нанесення і типу застосованого робота.

Оптимальна швидкість руху робот-маніпулятор під час фарбування літака складає 0,5 м/с. Це дозволяє досягти високої точності нанесення покриття, забезпечуючи рівномірність фарбування та мінімізацію втрат фарби.

Продуктивність робота-маніпулятора при фарбуванні досягає 30–40 м² на годину. Швидкість подачі фарби в залежності від специфікації системи подачі, типу фарби та необхідної товщини шару становить до 200 мл/хв.

Для переміщення роботів фарбувальним цехом запропоновано застосувати системи ABB Track Motion розроблені для забезпечення надійного та ефективного використання потужності робота. Track Motion значно розширює робочу зону робота, дозволяючи одному роботу обслуговувати багато машин, і таким чином мінімізує кількість необхідних роботів [20].

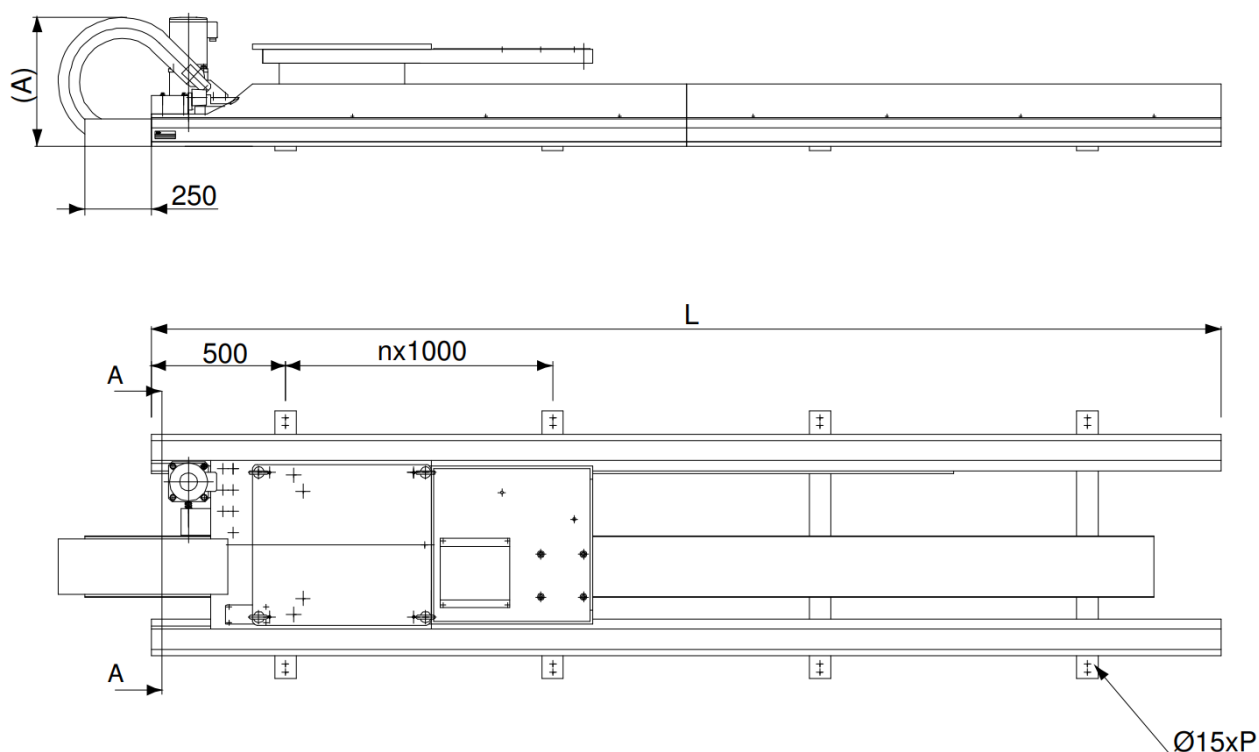


Рисунок 3.6 – Схема треку RTT

Трек може бути призначений для повздовжнього пересування робота по підлозі або підвісних системах.

Зображення реалістичних автоматизованих ліній, їхніх рухів та інтеграції з роботами допомагає уявити собі реальний виробничий процес та виявити можливості для оптимізації та покращення продуктивності. Це може бути особливо ефекти-

вним у випадку виробництва з складними процесами руху матеріалів або великим обсягом виробництва (рисунок 3.6).

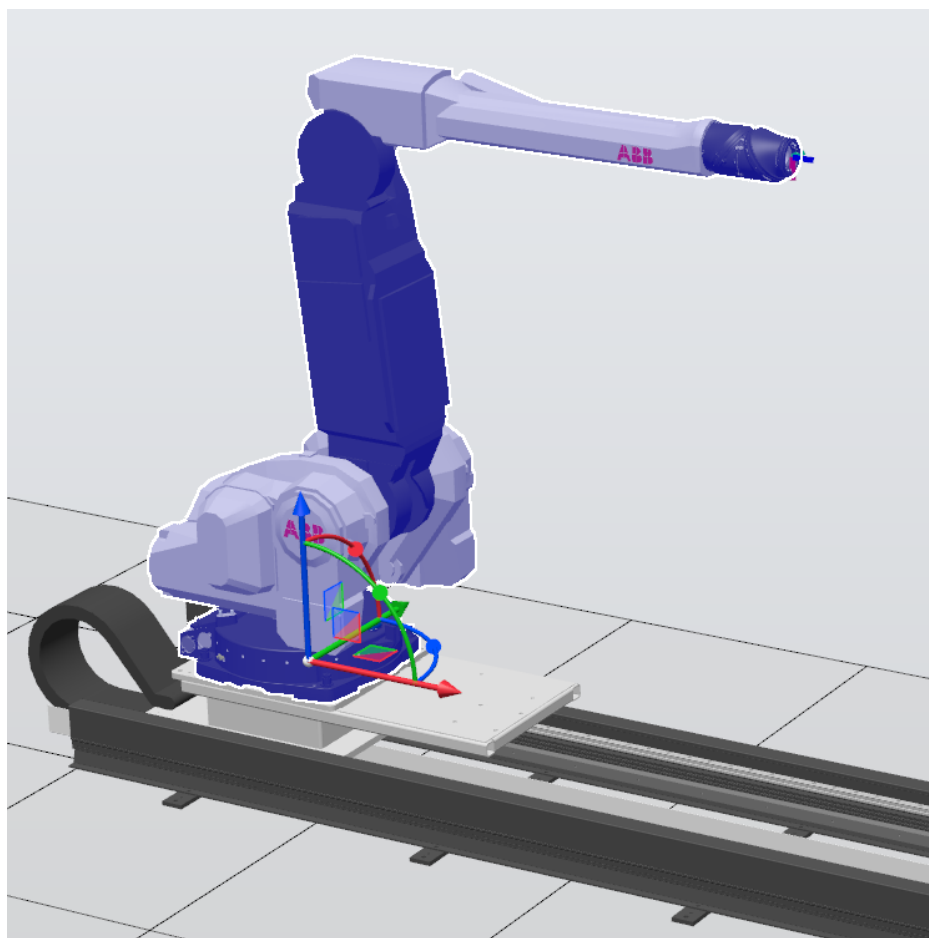


Рисунок 3.7 – Робот ABB IRB5400 на треку RTT

3.2 Симуляція роботизованого фарбування за допомогою RobotStudio

Для вдосконалення роботи роботів і перевірки ефективності їх використання в реальних умовах було розроблено модель цього процесу в середовищі RobotStudio. Це спеціалізоване програмне забезпечення дає можливість віртуально відтворювати поведінку роботів, симулюючи всі етапи їх роботи. Завдяки цьому можна не лише перевірити алгоритми, але й виявити можливі проблеми, які можуть виникнути під час виконання завдань у реальних умовах. Це важливо для мінімізації ризиків поломок, а також для забезпечення точності й швидкості виконання операцій. Моделювання в RobotStudio дає можливість точно налаштувати траєкторії руху роботів, вибрати оптимальні стратегії для нанесення покриттів і створювати інтерфейси для управління роботизованими системами.

Робота в програмі починається із створення робочого середовища файлу Station у вкладці New (Рисунок 3.8).

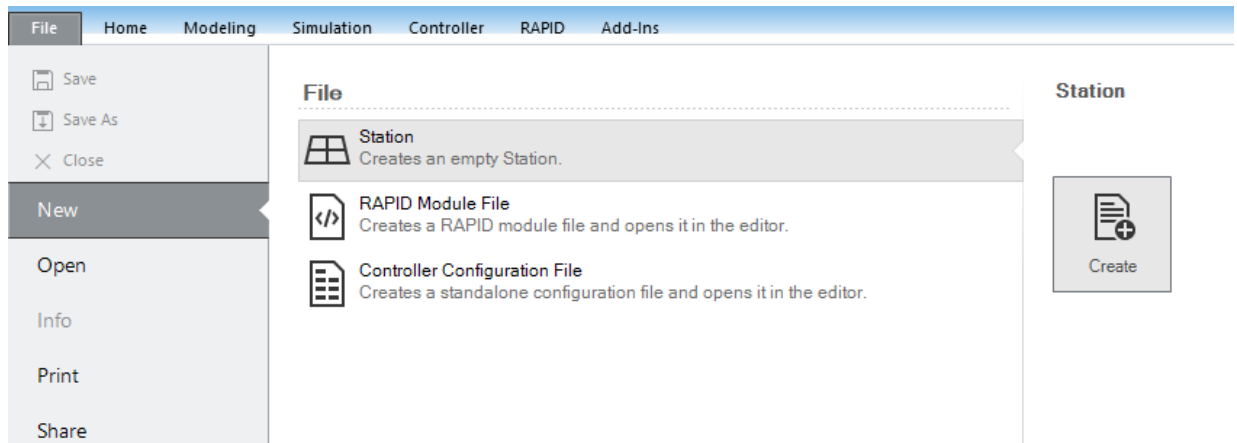


Рисунок 3.8 – Створення робочого середовища

На вкладці Import Geometry вказуємо шлях до моделі літака і додаємо його у віртуальне середовище RobotStudio.

Для додавання роботів і треків системи Track Motion слід скористатися робочою бібліотекою ABB Library. Вказати серію і тип робота, після чого інтегрувати в робочий простір програми (Рисунок 3.9)

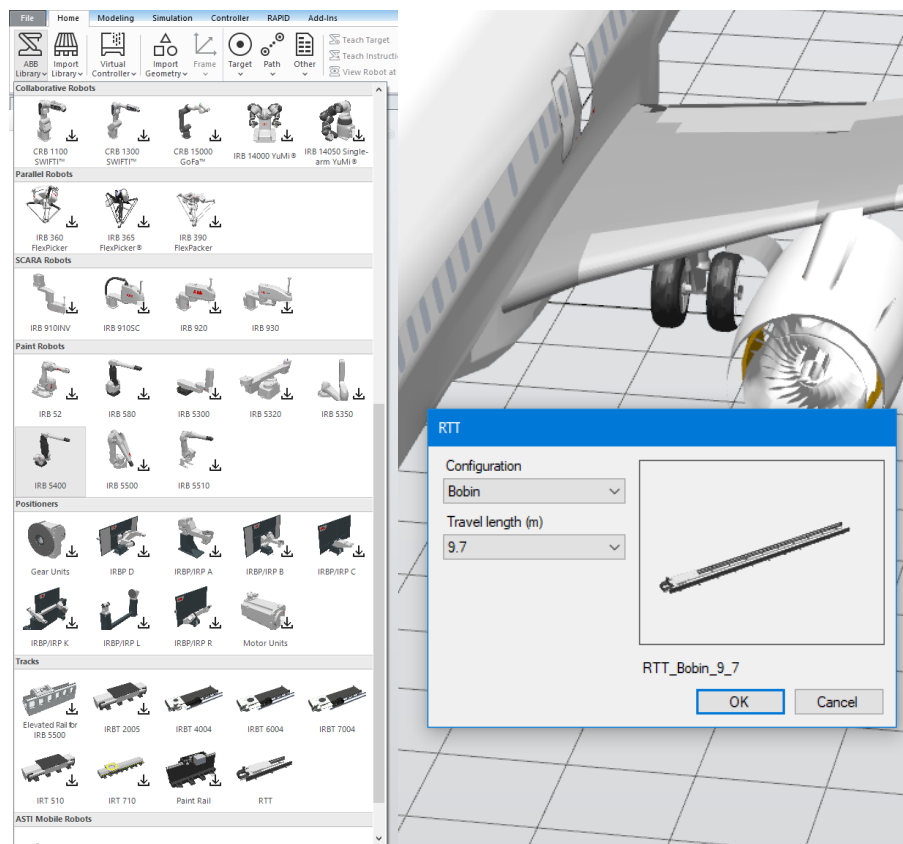


Рисунок 3.9 – Інтеграція об'єктів із ABB Library

Вкладка Import Library надає доступ до великої кількості інструментів, що дозволяють розширювати можливості роботизованих систем. Крім того, є можливість створювати власні інструменти, адаптовані до специфічних умов і вимог підприємства. Це можуть бути різноманітні маніпулятори, захоплювачі чи інші пристрої, які забезпечують точність і ефективність при виконанні завдань. Також в програмі інтегровано контролери управління, які є необхідними для нормального функціонування роботизованих систем. Без контролерів неможливо здійснювати управління роботою, програмувати його або здійснювати моніторинг і коригування параметрів роботи в реальному часі. Контролер взаємодіє з усіма компонентами системи, забезпечуючи їх синхронізовану роботу та оптимізацію процесів. (рисунок 3.10).

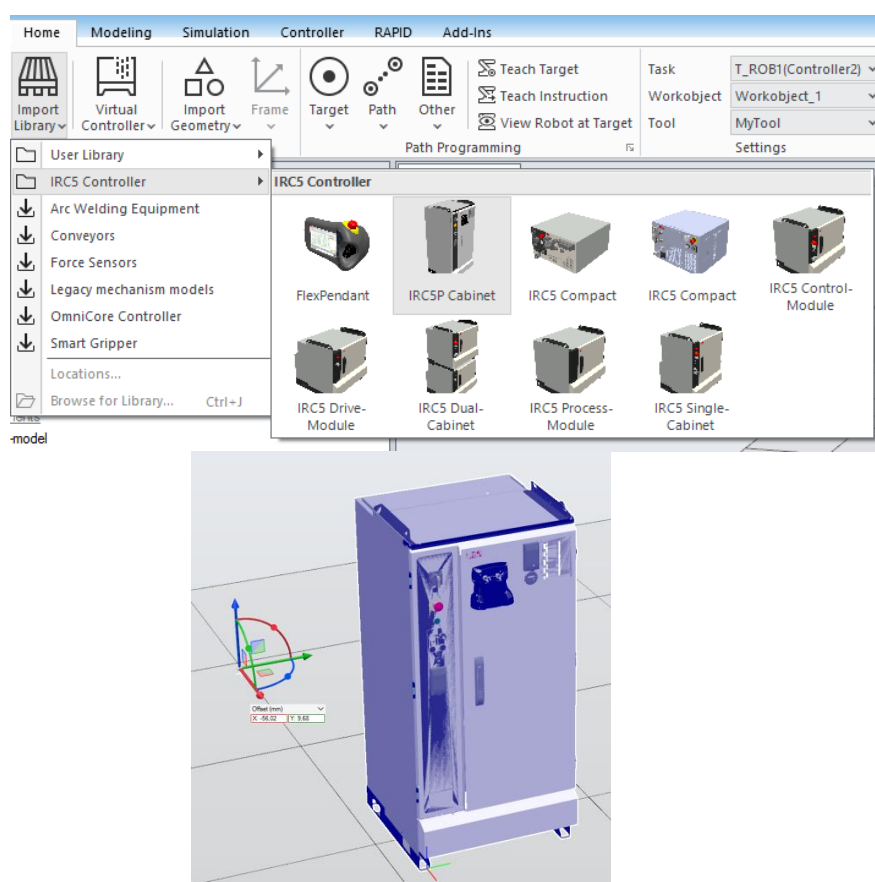


Рисунок 3.10 - Контролер IRC5 Control-Module на вкладці Import Library

Слід визначити контролер для інтегрованого робота та допоміжного обладнання, що буде взаємодіяти з ним. Спочатку потрібно перейти до панелі управління. У верхній частині інтерфейсу програми, в панелі управління, вибрати команду Virtual Controller. Відкриється нове вікно з відображенням списку доступних контролерів, які можуть бути використані для управління роботизованою системою.

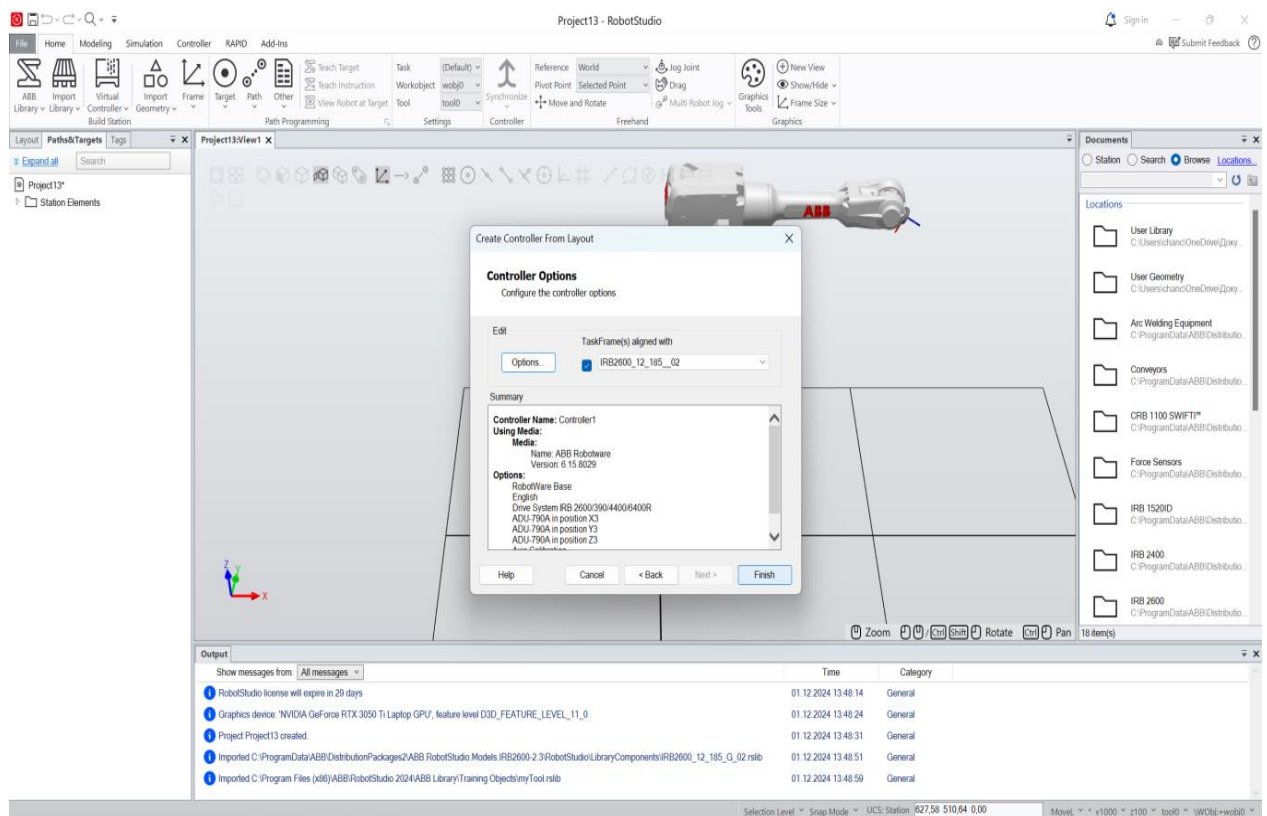


Рисунок 3.11 - Діалогове вікно Create Controller From Layout

У вікні слідє вибрати відповідного робота і сумісне обладнання, з яким планується працювати. Після чого слід пройти через кілька етапів налаштування програми. Для проходження слід натиснути Next в кожному з вікон.

Після того, як всі налаштування будуть виконані, програма генерує віртуальний контролер, який симулює роботу робота та його взаємодію з допоміжним обладнанням. Це дозволяє протестувати всю систему в умовах, наближених до реальних умов, без необхідності фізичного запуску роботизованої системи, що допомагає виявити можливі проблеми та оптимізувати роботу до впровадження на підприємстві.

Для встановлення робота маніпулятора на трек РТТ слід перетягнути відповідного робота в дереві побудови на відповідний трек. Програма запропонує об'єднати два об'єкти в одну систему, після чого оновить модель (рисунок 3.12).

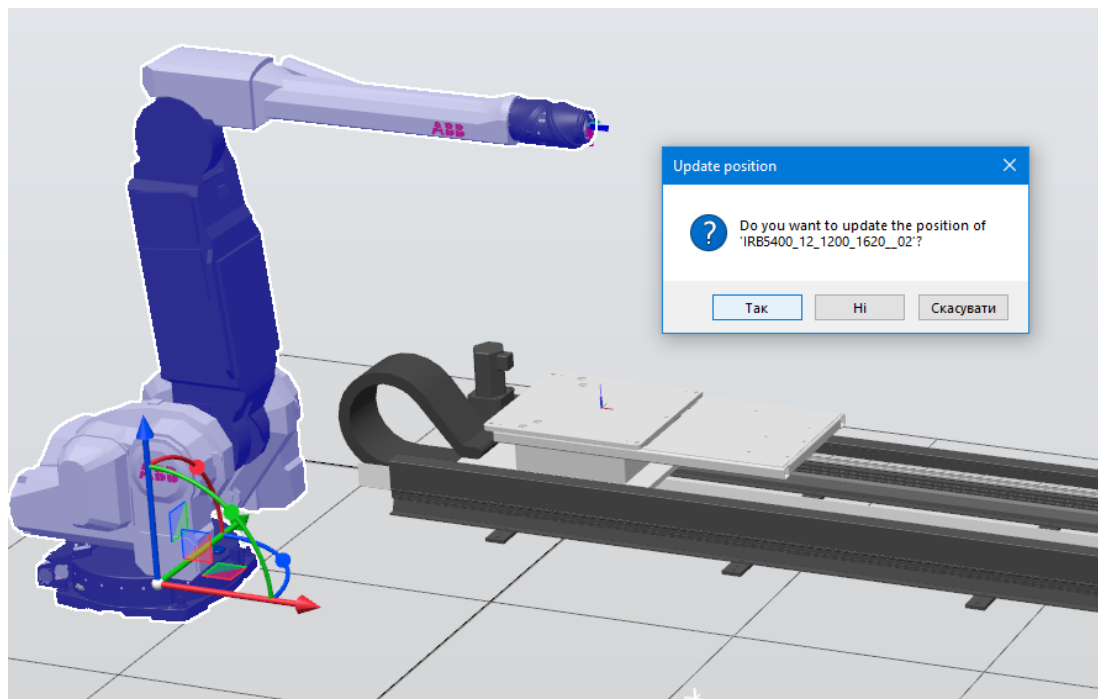


Рисунок 3.12 - Встановлення робота маніпулятора на трек RTT

Наступний крок це створити траєкторії руху за визначеними цільовими точками за якими робот повинен орієнтуватися. Для цього необхідно перейти на вкладку Path&Targets і у підпункті wobj0 створити базову точку Target_origin. Далі додати нову групу цільових точок за допомогою Create Workobject на вкладці Other (рисунок 3.13).

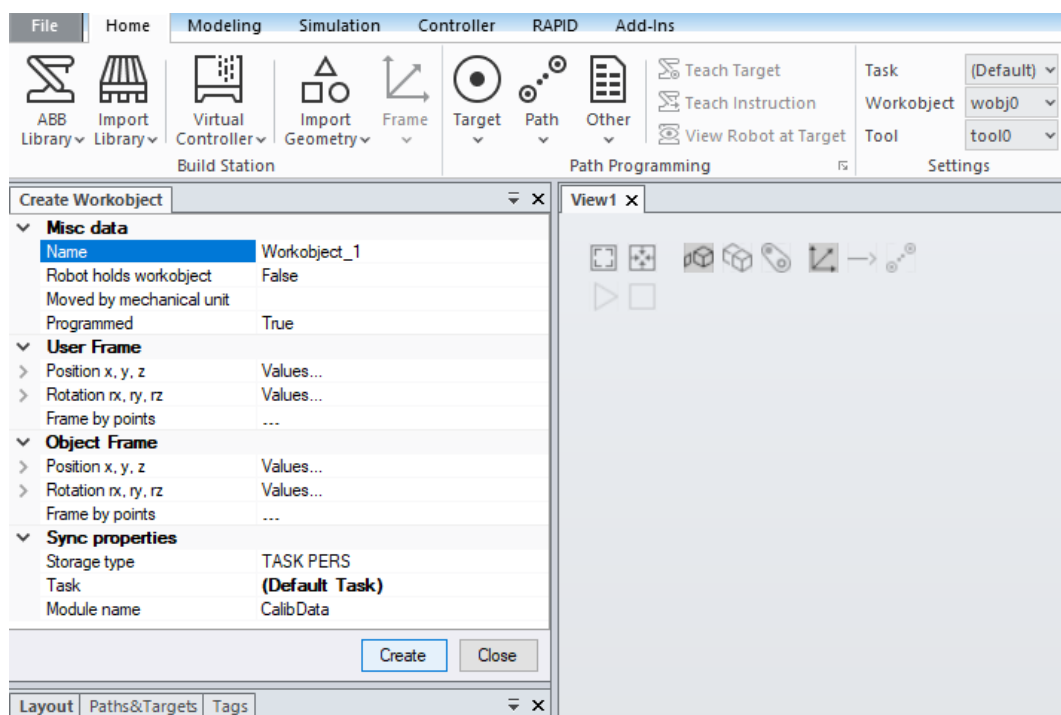


Рисунок 3.13 - Додавання нової групи на вкладці Other

Наступним кроком є встановлення положення для робота відповідно до координат. Для цього можна скористатися інструментом Jog Joint і Drag або вводити числові значення через вікно Mechanism Joint Jog. Після встановлення положення натиснути Teach Target щоб програма запам'ятала розташування точки (рисунок 3.14)

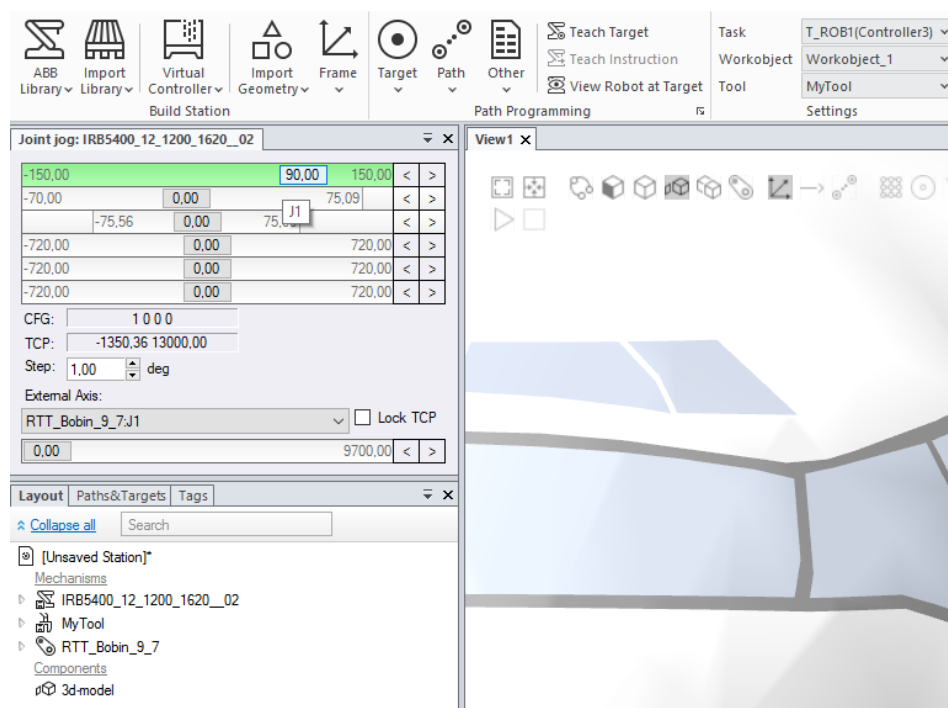


Рисунок 3.14 - Координати у вікні Mechanism Joint Jog

Вказуємо цільові точки переміщуючи робота в положення відповідно до координат і використовуємо Teach Target для збереження даних про цільові точки маршруту (рисунок 3.15).

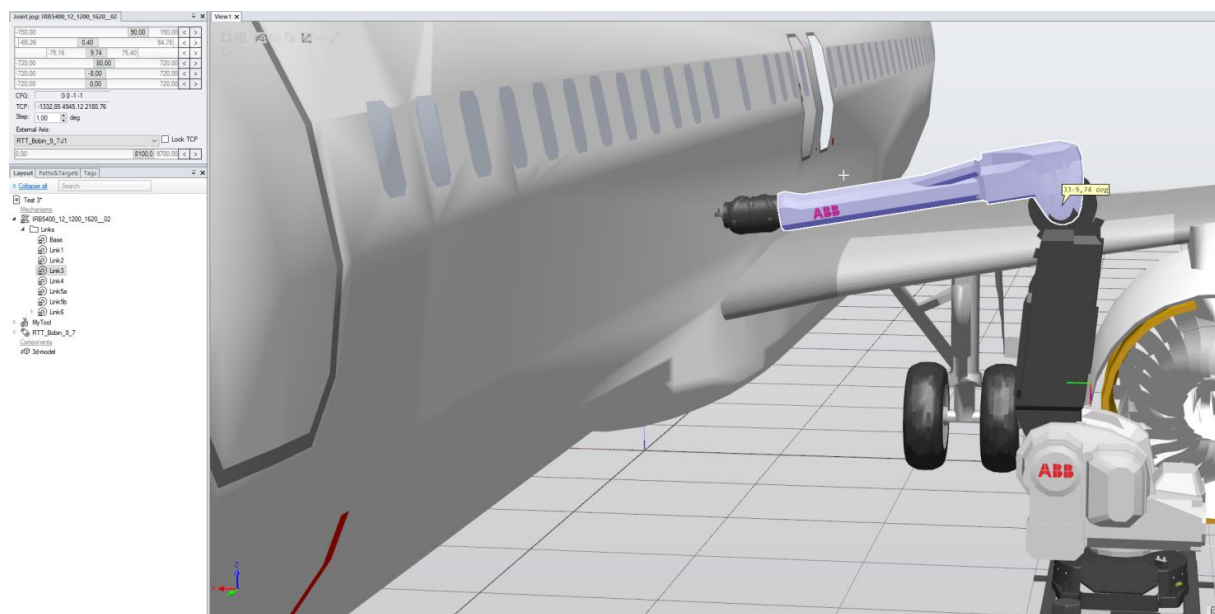


Рисунок 3.15 - Орієнтуємо робота відносно координат

Побудову маршруту операції виконуємо через створення шляху в розділі Path & Procedures, вибираємо всі створені точки і перетягуємо їх в правильній послідовності до новоствореного Path. Створюємо ще один шлях називаючи його Main, інтегруємо в нього попередньо створений Path.

Далі слід синхронізувати траєкторію руху з віртуальним контролером у вікні панелі Synchronize (рисунк 3.16)

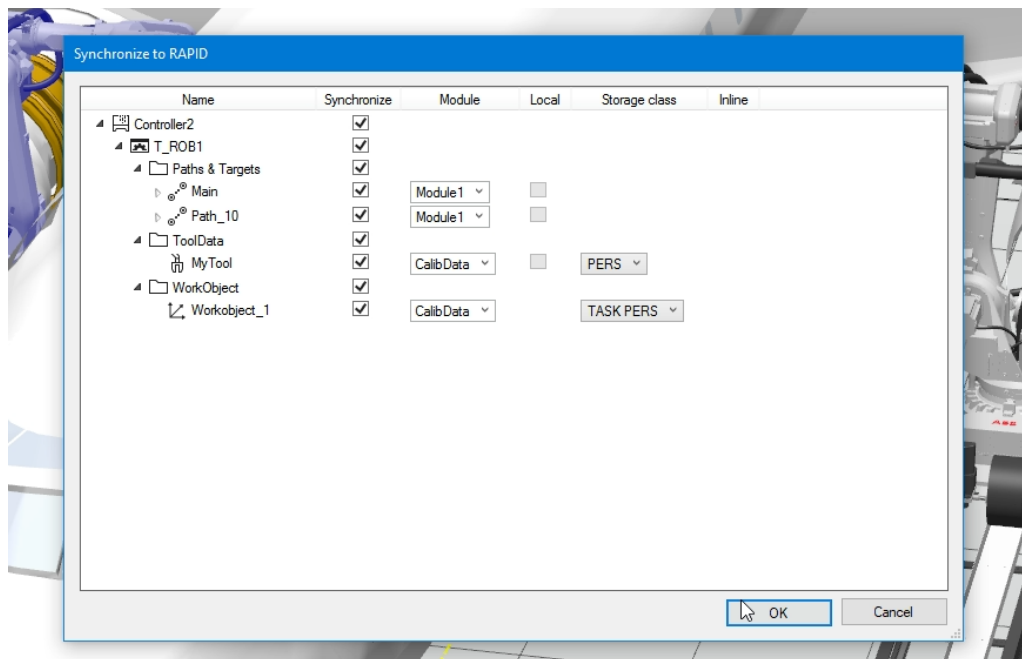


Рисунок 3.16 – Вікно панелі Synchronize

Після синхронізації з контролером можемо перевіряти траєкторії руху роботів і переглядати симуляцію в робочому середовищі програми рис 3.17

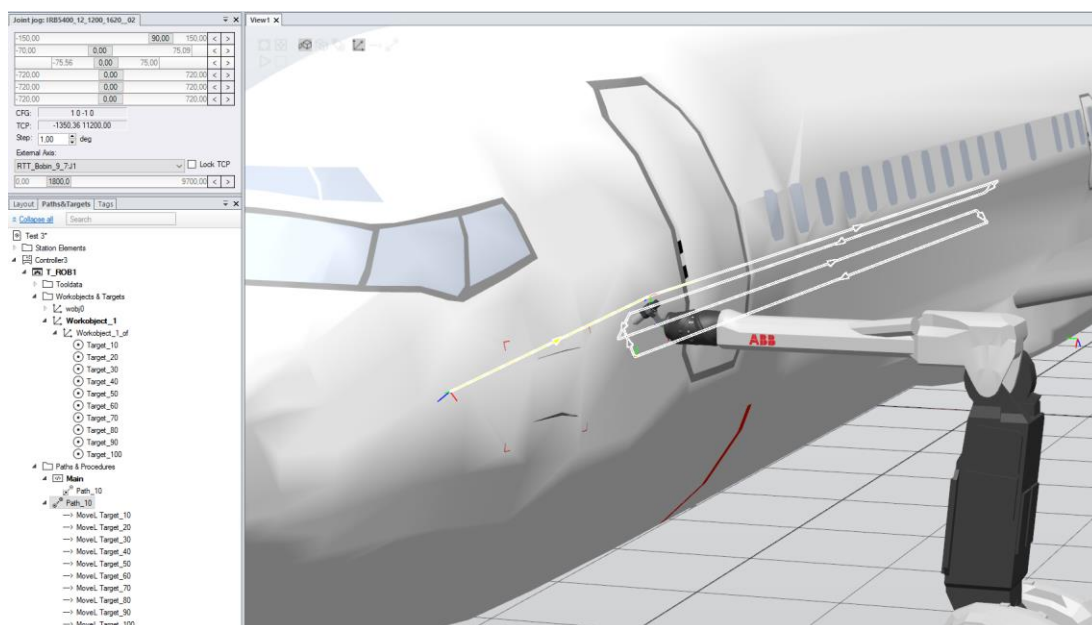


Рисунок 3.17 - Імітація руху робота по траєкторії створеного шляху

3.3 Порівняльний аналіз ключових показників ефективності

Ключові показники ефективності (КПЕ) представляють собою систему оцінки, яка включає як фінансові, так і нефінансові аспекти. Вона дозволяє оцінити ефективність поточних процесів, аналізуючи результати за визначений період часу. Показники КПЕ виражаються у числовому вигляді та надають інформацію про досягнення поставлених цілей.

У кожній сфері діяльності використовуються власні КПЕ, які застосовуються для оцінки різноманітних процесів і результатів. Залежно від мети, КПЕ поділяються на стратегічні та операційні. Перші орієнтовані на досягнення довгострокових цілей, таких як річний дохід компанії. Другі фокусуються на оцінці короткострокових процесів, наприклад, аналізують щомісячний обсяг продажів у відділі.

Ще одним способом класифікації КПЕ є їх поділ на фінансові та нефінансові. Міжнародний стандарт ISO:22400 регламентує підхід до визначення та використання ключових показників ефективності [21].

Нижче наведені щомісячні КПЕ коефіцієнту використання, пропускнуєї спроможності та продуктивності до впровадження інтелектуальних технологій фарбування літаків, та після впровадження.

Таблиця 3.1 – Ефективність використання

Опис КПЕ	
Інформація по контенту	
Назва	Ефективність використання
Опис	Ефективність використання – це відношення між фактичним часом виробництва продукції (АРТ) та фактичним часом зайнятості робочого вузла (АУВТ)
Сфера застосування	Робочий вузол
Формула	$\text{Ефективність використання} = \text{АРТ} / \text{АУВТ}$
Одиниця вимірювання	%
Діапазон	Мінімальне значення: 0%

	Максимальне значення: 100%
Тренд	Чим вищий цей показник, тим краще
Контекстна інформація	
Період часу	дні
Цільова аудиторія	Оператор
Тип виробництва	Порційне
Діаграма моделі впливу	Рисунок 3.18
Примітки	Цей показник вказує на продуктивність робочих вузлів. Оскільки саме час виробництва впливає на реальну додану цінність за яку платить ринок, то метою виробничих процесів є отримання найвищого значення цього показника.

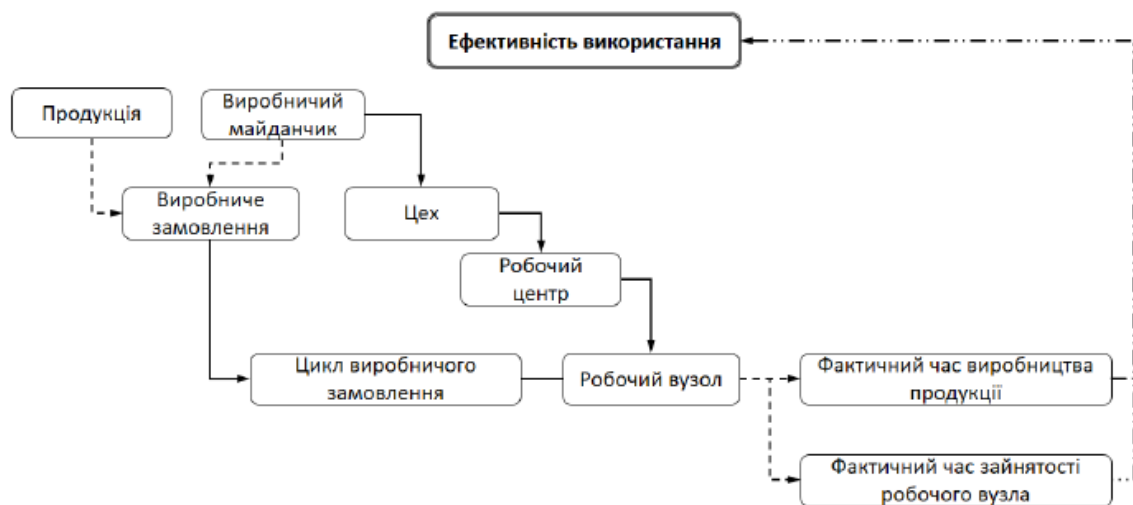


Рисунок 3.18 – Ефективність використання

Коефіцієнт використання до впровадження інтелектуальних технологій

$$(140/160)*100\%=87,5 \%$$

Коефіцієнт використання після впровадження інтелектуальних технологій

$$(180/160)*100\%=0,025\approx112,5\%$$

Таблиця 3.2 - Продуктивність

Опис КПЕ	
Інформація по контенту	
Назва	Продуктивність (роботи обладнання)
Опис	Продуктивність це відношення між спланованим цільовим циклом та фактичним циклом, який відображається як запланований час виконання на одиницю продукції (PRI), помножений на обсяг виробленої продукції (PQ) й поділений на фактичний час виробництва продукції (APT)
Сфера застосування	Робочий вузол
Формула	Продуктивність = $PRI * PQ / ART$
Одиниця вимірювання	%
Діапазон	Мінімальне значення: 0% Максимальне значення: 100%
Тренд	Чим вищий цей показник, тим краще
Контекстна інформація	
Період часу	По запити
Цільова аудиторія	Оператор
Тип виробництва	Порційне
Діаграма моделі впливу	Рисунок 3.19
Примітки	Продуктивність розраховується в короткі періоди й показує наскільки ефективним є робочий вузол впродовж часу виробництва. Це визначення використовує запланований час виконання на одиницю продукції, як час циклу. Це також визначає скільки часу займає вироблення фіксованої кількості матеріалу. У порційному та неперервному виробництві зазвичай відображають вихід продукції за одиницю часу як кількість за одиницю часу (наприклад, HL

	за годину). Це значення є взаємним відносно елемента PRI і може бути перетворене в PRI через визначення фіксованої кількості виробленого матеріалу.
--	---

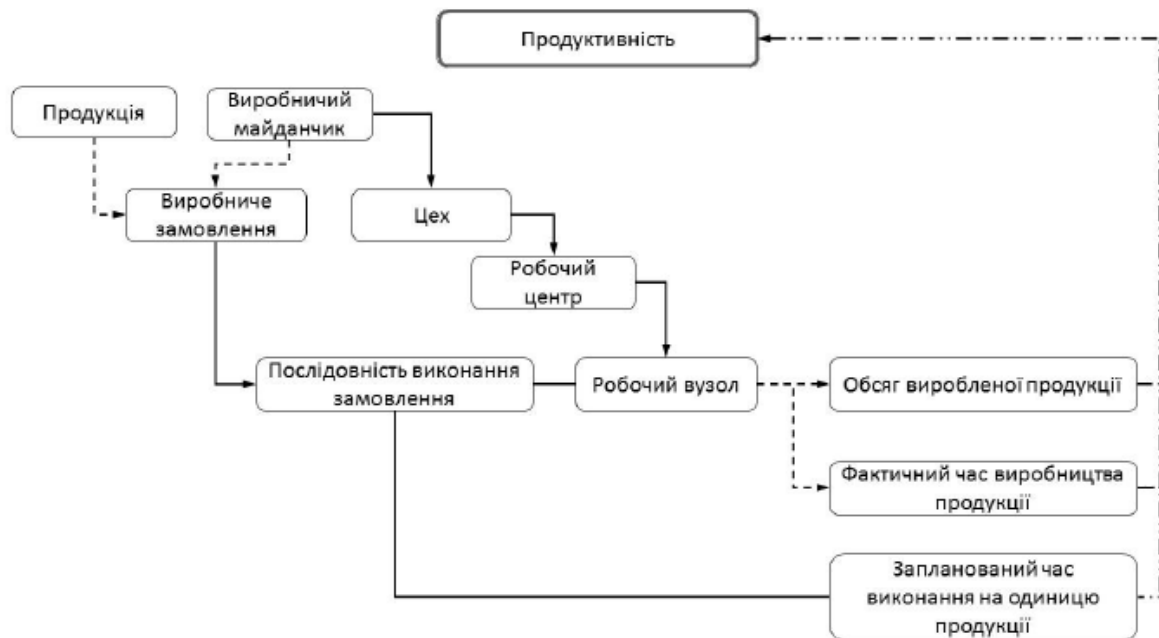


Рисунок 3.19 – Продуктивність

Коефіцієнт продуктивності до впровадження інтелектуальних технологій

$$10 \cdot 1200 / 140 = 86\%$$

Коефіцієнт продуктивності після впровадження інтелектуальних технологій

$$30 \cdot 1200 / 160 = 225\%$$

Підвищення коефіцієнта продуктивності свідчить про те, що впровадження інтелектуальних технологій не лише покращило якість, а й сприяло підвищенню ефективності виробництва.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпека праці під час фарбувальних робіт [22], с. 295.

До заходів, направлених на ліквідацію небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час фарбувальних робіт, входять такі:

- заміна пожежонебезпечних речовин на безпечні;
- застосування для фарбувальних робіт найменш шкідливих речовин;
- застосування прогресивної технології виробництва (автоматизація виробничих процесів, механізація трудомістких робіт, дистанційне керування, автоматичний контроль процесів);
- вибір прогресивних методів фарбування (безповітряне розпилювання та інші), які забезпечують найкращі санітарно-гігієнічні умови праці, вибухо- і пожежобезпечність;
- раціональне вибухо- і пожежобезпечне планування виробничих площадок, будівель і приміщень;
- оснащення засобами колективного захисту;
- застосування працівниками засобів індивідуального захисту.

Процес фарбування має бути безпечним на всіх технологічних стадіях: підготовці поверхні виробу під фарбування, враховуючи видалення продуктів корозії, старого покриття, знежирювання, нанесення лакофарбувальних матеріалів, приготування, збереження, транспортування робочих речовин, з врахуванням миття та очищення тари, виробничого устаткування, інструмента; сушінні лакофарбувальних покриттів.

Для попередження професійних захворювань усім, кого приймають на роботу і хто ще працює, належить проходити попередній і періодичний медичні огляди, а особам, які виконують фарбувальні роботи (як роботи підвищеної небезпеки), належить проходити відповідне курсове навчання.

Фарбувальні роботи виконують у спеціально обладнаних ангарах, цехах, відділеннях (в подальшому - фарбувальних цехах). При відсутності фарбувальних цехів на підприємствах у виняткових випадках допускається виконувати фарбування

на спеціально відведених і обладнаних для цієї мети площадках і ангарах або на відкритому повітрі при виконанні додаткових вимог. Наприклад, на проведення фарбувальних робіт в ангарі необхідно мати дозвіл місцевих органів санітарно-епідеміологічної служби, профспілки (технічної інспекції праці) та органів пожежного нагляду.

Для кожного фарбувального цеху керівництво підприємства складає план ліквідації аварій. Забороняється допускати до роботи осіб, які не ознайомлені з планом ліквідації аварії і не знають його в тій частині, що пов'язана з місцем їхньої праці.

Для виконання фарбувальних робіт із застосуванням ручних розпилювачів оформляють наряд-допуск.

Перед початком фарбувальних робіт перевіряють справність воріт ангара і системи автоматичного пожежогасіння. Літак має бути відключений від усіх джерел живлення електроенергією.

На період фарбування літаків класів I-III безпосередньо біля воріт ангара, де виконують фарбування, має знаходитися автотягач з водієм. До літака, який фарбують, приєднують спеціальний пристрій для полегшення буксирування. Шлях евакуації літака звільняють від сторонніх предметів, устаткування та інших літаків.

Під час проведення фарбувальних робіт забороняється виконувати інші роботи, які не належать до вказаної технології, здійснювати проїзд будь-якими транспортними засобами та перебувати в приміщенні стороннім особам.

У разі фарбування поверхонь літака розпилюванням застосовують місцеві пересувні вентиляційні установки, які відповідають вимогам пожежної безпеки. У місцях фарбування підтримують розрідження повітря, яке запобігає виходу шкідливих викидів назовні і їхнє поширення по приміщеннях фарбувальних цехів.

У приміщеннях, де виконуються фарбувальні роботи, допускається фарбувати лише один літак. При необхідності одночасного фарбування двох і більше літаків останні розміщують в ізольованих приміщеннях, розділених неспалимими перегородками.

Не допускається фарбування одночасно зовнішньої і внутрішньої поверхонь літака. Фарбувальні роботи починають з найбільш віддаленого від основного еваку-

аційного виходу відсіку. При цьому забороняється одночасна робота в декількох відсіках та прокладання рукавів вентиляційної установки крізь основні евакуаційні виходи.

У разі фарбування внутрішніх поверхонь літака необхідно передбачати не менше двох отворів з протилежних боків літака: один для видалення забрудненого повітря, другий - для притоку свіжого. Фарбування починають з боку отвору для видалення повітря.

Під час фарбувальних робіт у внутрішніх зонах літака на робочому місці має знаходитися вогнегасник. Для попередження утворення і накопичення зарядів статичної електрики необхідно виконати вимоги відповідного стандарту та інших нормативно-технічних документів.

Допоміжні пристрої для фарбувальних робіт (стрем'янки, доки, сходини, возики, столи та інше обладнання) виготовляють із неспалимих матеріалів. Вони повинні мати протиударний захист, який виключає у всіх випадках іскровиникнення. Дерев'яні настили, площадки, помости тощо оброблюють вогнезахисними речовинами. Скребки для видалення старих лакофарбових покриттів виготовляють також із матеріалів, які унеможливають іскровиникнення. Забороняється застосовувати щітки, пензлі із синтетичних матеріалів.

Фарбувальні цехи розміщують у спеціально обладнаних одноповерхових будівлях не нижче другого ступеня вогнестійкості, біля зовнішніх стін цих будівель з віконними отворами. Їх відокремлюють від суміжних виробничих приміщень неспалимими стінами. Вихід у суміжні приміщення із фарбувальних цехів роблять крізь тамбури-шлюзи з гарантованим підпором повітря.

Розташовувати фарбувальні цехи в підвальних та цокольних приміщеннях, а також на перших поверхах багатоповерхових будівель не дозволяється. Підлоги фарбувальних цехів виготовляють із неспалимих, електропровідних матеріалів, які стійкі до розчинників і виключають іскроутворення. Внутрішні поверхні стін фарбувальних цехів облицьовують на висоту не менше 2 м не спалимими матеріалами, які можна легко очищати від забруднення.

Готують робочі речовини у фарбозаготівельних відділеннях, обладнаних при-

пливно-витяжними вентиляційними системами і засобами пожежної техніки, які розташовують у приміщеннях, розміщених біля зовнішніх стін з віконними отворами і з самостійним евакуаційним виходом, та ізолюють від суміжних приміщень неспалимими стінами. При цьому вентиляційні системи фарбувальних цехів, комор, лабораторій не повинні об'єднуватись між собою, а також з вентиляційними системами інших виробництв.

Приміщення фарбувальних цехів повинні мати пожежобезпечну каналізацію, обладнану уловлювачами або відстійниками з гідравлічним затвором.

Світильники, які встановлюють у приміщеннях, де проводять роботи із застосуванням лакофарбових матеріалів, розчинників, повинні мати вибухозахищене виконання.

Під час робіт на літаку дозволяється використовувати переносні вибухозахищені світильники, які живляться від електромережі постійного струму напругою не вище 24 В і змінного струму - не вище 12 В. Підключення переносних світильників до електромережі виконують поза літаком.

Електрообладнання фарбувальних цехів має відповідати класам вибухо- і пожежонебезпеки приміщень, визначених за «ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)» [23]. Електрообладнання встановлюють і експлуатують відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.21-98 [24].

Фарбувальні цехи і допоміжні приміщення, де виконують роботи з лакофарбувальними матеріалами, розчинниками, забезпечують первинними засобами пожежогасіння і установками пожежної автоматики відповідно до чинних нормативів. Фарбувальні цехи обладнують автоматичною пожежною сигналізацією, а також прямим телефонним зв'язком з підрозділом протипожежної охорони. Телефонні апарати розташовують біля виходів із цехів.

Забороняється застосовувати бензол, метанол і піробензол як розчинники і розріджувачі для лакофарбувальних матеріалів. Застосування ксилолу для розріджування лакофарбувальних матеріалів обмежують заміною його на інші розчинники у всіх випадках, де це дозволено технічними умовами.

Для фарбування розпилюванням забороняється використовувати лакофарбувальні матеріали, в склад яких входять хлоровані вуглеводні. Застосовувати поліуретанові та епоксидні лакофарбувальні матеріали для фарбування розпилюванням дозволяється за наявності ефективних місцевих відсмоктувачів і забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Переливання легкозаймистих рідин з однієї тари в іншу виконують на металевих піддонах з бортами не нижче 50 мм.

Літаки у фарбувальних цехах установлюють носовою частиною в бік воріт. Відстань від літака, який фарбують, до інших літаків має забезпечувати останнім пожежну безпеку.

В разі організації робіт на частинах літака, розміщених високо, застосовують спеціальні стрем'янки, трапи та інші пристосування. Стрем'янки повинні мати прогумовані колеса і шершаву поверхню настилів, а також фіксуючий механізм.

Виконуючи такі роботи, слід застосовувати охоронні пояси. Кожний пояс повинен мати бирку з присвоєним йому номером із зазначенням терміну чергового випробування. Сушіння пофарбованих виробів виконують у сушильних камерах, обладнаних вентиляцією, яка виключає можливість утворення в камері вибухонебезпечних концентрацій, які перешкоджають виходу повітря в приміщення.

Вироби, пофарбовані лакофарбувальними матеріалами, які висихають при кімнатній температурі, допускається сушити в місцях фарбування або укриття (шафи, камери), обладнаних місцевою витяжною вентиляцією.

Сушіння лакофарбувальних матеріалів, нанесених на поверхню планера і великогабаритних агрегатів, проводять у природних умовах на місцях фарбування при увімкненій вентиляції.

Під час розробки і виконання фарбувальних робіт належить забезпечити заходи і засоби нейтралізації і прибирання пролитих і розсипаних лакофарбувальних матеріалів і хімікатів, а також засоби ефективного очищення стічних вод, виділень газу і пилу перед випуском їх у водоймище і атмосферу відповідно до чинних вимог.

Після закінчення робіт залишки лакофарбувальних матеріалів прибирають у цехові комори. Матеріали для обтирання (ганчірки, шмаття тощо) після викорис-

тання складають у металеві ящики з кришками і в кінці зміни виносять у спеціальні місця, відведені за вказівкою пожежної охорони. Тара з-під лакофарбувальних матеріалів має бути щільно закрита кришками, її виносять з цеху і складують на спеціально відведених майданчиках. Лакофарбувальні матеріали зберігають на складах, розташованих в одноповерхових будівлях не нижче першого ступеня вогнистості, відокремлених від інших приміщень неспалимими стінами. Працівників у фарбувальних цехах забезпечують спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту з урахуванням умов проведення робіт відповідно до типових галузевих норм або інших ідентичних нормативно-технічних документів.

Вмісту повітрі робочої зони шкідливих газів, пари, пилу та умови мікроклімату належить систематично контролювати. Контроль стану повітряного середовища проводять під час використання нових матеріалів, в разі зміни технології, реконструкції вентиляційної системи. Періодичність санітарно-хімічного контролю установлюють органи санітарного нагляду залежно від класу речовин, які знаходяться у повітряному середовищі, і від характеру технологічного процесу.

ВИСНОВКИ

В результаті дослідження було виявлено, що впровадження технологій Індустрії 4.0, зокрема цифрових двійників, може значно підвищити ефективність та точність процесів у галузі авіабудування, включаючи фарбування літаків. Ці технології дозволяють забезпечити кращу автоматизацію та моніторинг стану виробничих процесів, що сприяє зниженню витрат і часу на виробництво.

Аналіз технологічного забезпечення традиційного процесу фарбування літаків вказує на низку недоліків, зокрема високу трудомісткість, тривалість процесу фарбування та ризики, пов'язані з людським фактором (погрішності в якості фарбування, висока витрата матеріалів тощо). Це створює умови для доцільності впровадження більш ефективних і автоматизованих рішень.

Використання роботизованих систем у цеху фарбування літаків дозволяє значно покращити якість і точність нанесення фарби, забезпечуючи рівномірне покриття та зменшуючи кількість дефектів. Технологія роботизованого фарбування, зокрема застосування робота-маніпулятора ABB IRB5400, може значно знизити витрати часу на фарбування, а також забезпечити безпеку праці та зменшити вплив на навколишнє середовище, зокрема, шляхом точного дозування матеріалів.

Симуляція роботизованого фарбування за допомогою програми ABB RobotStudio показала ефективність цього підходу для оптимізації маршруту робота. Це дозволяє заздалегідь протестувати технологічний процес, знижуючи ризики на етапі впровадження.

Порівняльний аналіз показав, що після впровадження роботизованих технологій, ключові показники ефективності, такі як ефективність використання, час фарбування, продуктивність і витрата матеріалів значно покращуються. Це робить впровадження роботів в фарбування літаків доцільним і економічно вигідним.

Таким чином, дослідження підтвердило доцільність впровадження роботизованих технологій в процес фарбування літаків цивільної авіації, що дозволяє значно прискорити час, знизити витрати та покращити якість виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Digital twin applications in aviation industry: A review.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-022-09717-9>
2. Digital Twin: A Quick Overview.
https://www.researchgate.net/publication/379959085_Digital_Twin_A_Quick_Overview
3. The Role of Digital Twin in Aerospace To Enhance Safety and Efficiency.
<https://appinventiv.com/blog/digital-twin-in-aerospace/>
4. Digital Twins in Aviation: A Case for Enhanced Safety and Efficiency.
<https://www.techopedia.com/digital-twins-in-aviation-a-case-for-enhanced-safety-and-efficiency>
5. Harnessing Digital Twin Technology for Transforming Aviation: Enhancing Safety, Efficiency, and Innovation.
https://www.aviationfile.com/digital-twin-technology-for-transforming-aviation/#google_vignette
6. The Transformative Power of Digital Twins in Aviation.
<https://www.lhsystems.com/blog-entry/transformative-power-digital-twins-aviation>
7. С.В. Салоїд, К.Ю. Редько Аналіз розвитку підприємств авіаційної галузі і визначення економічних проблем.// Агросвіт – 2021.– № 3.– С.50–53
8. Геєць І.О. Тенденції розвитку українського авіабудування в процесі.// Науково-технічний розвиток: економіка, технології, управління: IX міжнар. наук.-практ. конф., 21-24 квітня 2010 р.: тези доп. ГЛОБАЛІЗАЦІЇ СВІТОВОГО РИНКУ. – К., 2010. – С.187.
9. KR QUANTEC | KUKA AG.
<https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-quantec>
10. IRB 6700 | ABB Robotics - Articulated robots portfolio | ABB Robotics.
<https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-6700>
11. FANUC M-20iA/35M Robot | Light to Medium Payload Robot | FANUC.
<https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/m-20/m-20ia-35m>

12. 6 axis industrial robots TX2-140| Stäubli.
<https://www.staubli.com/global/en/robotics/products/industrial-robots/tx2-140.html>
13. Large Robotic Systems. Automated Paint Robot (APR).
<https://www.xyrec.com/products-and-services/robot-systems/>
14. Каталог продукції компанії SICK. Лазерні датчики відстані.
<https://www.sick.com/il/en/catalog/products/distance-sensors/laser-distance-sensors/dx50/dt50-p1113/p/p215264>
15. Каталог продукції компанії Leuze. Оптичні датчики відстані.
<https://leuze.com.ua/products/vymiriuvalni-datchyky/optychni-datchyky-vidstani.html>
16. RobotStudio Version 2024.3.1.
<https://new.abb.com/products/robotics/downloads>
17. RobotStudio® Suite. <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>
18. ABB (ABBN: SIX Swiss Ex). <https://global.abb/group/en>
19. IRB 5400 High performance paint process robot.
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10269EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
20. Product specification RTT 1600/2400. Document ID: 3HAC028561-001.
Revision: G – ABB AB Robotics Products Se-721 68 Västerås Sweden
<https://library.e.abb.com/public/9b3384e86fc7e798c1257cd100551cf6/3HAC028561-en.pdf>
21. ДСТУ ISO 22400-2:2019 Автоматизовані системи керування виробництвом. Ключові показники ефективності (KPIs) для керування виробничими процесами. Частина 2. Визначення та описання (ISO 22400-2:2014/Amd 1:2017, IDT). Зміна № 1:2019 - ДП «УкрНДНЦ», 2019.
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=85991
22. Буріченко Л.А., Гулевець В.Д. Охорона праці в авіації: Підручник / За ред. Л.А. Буріченка. - К.: НАУ, 2003. - 448 с.
23. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). Міненерговугілля України – Київ, 2017.
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758

24. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (рос). Держнагляд охорони праці (Державний комітет України з нагляду за охороною праці). – Київ., 1998.

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644